

## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 07-228985

(43)Date of publication of application : 29.08.1995

**C23F 4/00**

C30B 33/08

(71)Applicant : HITACHI CABLE LTD

(71)Applicant : HITACHI CABLE LTD

(72)Inventor : IMOTO KATSUYUKI

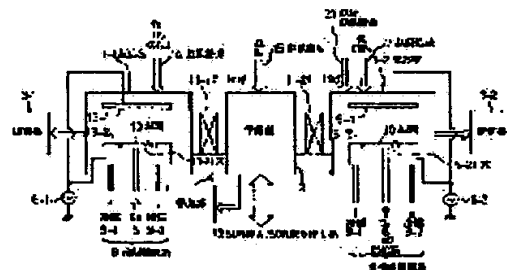
(72)Inventor : IMOTO KATSUYUKI

## (54) LOW TEMPERATURE DRY ETCHING METHOD AND DEVICE THEREFOR

**(57)Abstract:**

**PURPOSE:** To satisfy all of the characteristics of the side face of an oxide film on a substrate by controlling the dry etching conditions.

**CONSTITUTION:** A waveguide sample 10 as an oxide film-coated substrate is sent from a spare chamber 2 to a reaction chamber 1-1, and the WSi film and photoresist are etched off to form a core pattern. The sample 10 is introduced into a reaction chamber 1-2 through the spare chamber 2, and the core layer is dry-etched at a low temp. based on the core pattern. As the optimum condition at this time, the substrate is controlled to  $\leq 20^{\circ}\text{C}$ , the gaseous Ar flow rate is superimposed on the gaseous CHF<sub>3</sub> flow rate by  $\geq 2$  times in the gaseous etchant, and the total flow rate is controlled to  $\geq 60\text{cc/min}$ . The reaction chamber 1-2 is kept at : 2.66 Pa, and the power of a high-frequency power source 6-2 applied between the electrodes is controlled to  $\geq 450\text{W}$ . After etching, the sample is returned to the reaction chamber 1-1 to remove the WSi film on the core pattern, and finally the sample 10 is discharged into the atmosphere from one spare chamber 2.



## LEGAL STATUS

[Date of request for examination] 25.11.1996

**[Date of sending the examiner's decision of rejection]**

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number] 2876976

[Date of registration] 22.01.1999

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

**[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]**

[Date of extinction of right]

Copyright (C): 1998,2003 Japan Patent Office

**Best Available Copy**

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平7-228985

(43) 公開日 平成7年(1995)8月29日

(51) Int.Cl.<sup>8</sup>

C 2 3 F 4/00

C 3 0 B 33/08

識別記号

E 8417-4K

8216-4G

庁内整理番号

F I

技術表示箇所

審査請求 未請求 請求項の数 11 O L (全 14 頁)

(21) 出願番号 特願平6-20769

(22) 出願日 平成6年(1994)2月18日

(71) 出願人 000005120

日立電線株式会社

東京都千代田区丸の内二丁目1番2号

(72) 発明者 井本 克之

茨城県土浦市木田余町3550番地 日立電線  
株式会社アドバンスリサーチセンタ研究所  
内

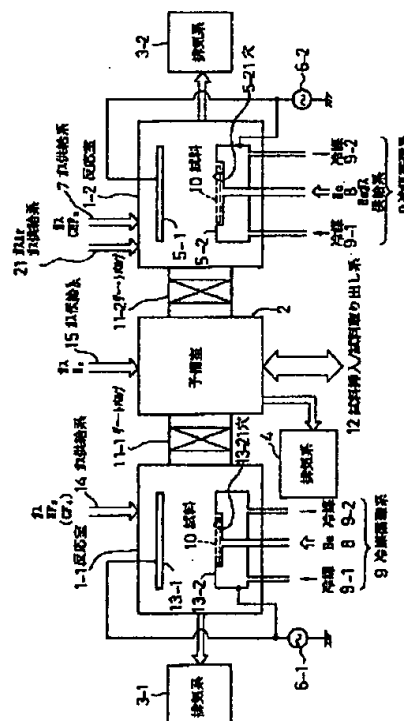
(74) 代理人 弁理士 松本 孝

(54) 【発明の名称】 低温ドライエッチング方法およびその装置

(57) 【要約】

【目的】ドライエッチング条件を規定することによって、基板上の酸化膜側面の諸特性のいずれについても全て満足するようにする。

【構成】酸化膜付き基板である導波路試料10を予備室2から反応室1-1へ搬送し、WSi膜とフォトリソ膜をエッチングで取り除きコアパターンを形成する。試料10を予備室2を経て反応室1-2内に搬送し、コア層の低温ドライエッチングをコアパターンに基づいて行う。このときの最適条件は、基板温度を-20℃以下とし、エッチングガスはCHF<sub>3</sub>、ガス流量にArガス流量を2倍以上重畳させ、総流量を60cc/min以上とする。反応室1-2内の真空度を2.66Pa以下に保つ。電極間に加える高周波電源6-2のパワは450W以上とする。エッチング終了後、再度反応室1-1に移送しコアパターン上のWSi膜を取り除き、最後に試料10を予備室2から大気中に取り出す。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】予備室に挿入した被エッチング材を気密バルブを介して反応室に搬送し、該反応室内で上記基板を0℃以下の低温に保って上記被エッチング材の表面をフッ素系ガスを用いて低温ドライエッチングする際に、上記フッ素系ガスの流量に不活性ガスの流量を2倍以上重畳させて上記反応室内に流し、かつ上記反応室内の真空度を2.66Pa以下に保ってエッチングするようにしたことを特徴とする低温ドライエッチング方法。

【請求項2】請求項1に記載の低温ドライエッチング方法において、上記被エッチング材が酸化膜付き基板であり、低温ドライエッチングされる被エッチング材表面が上記酸化膜付き基板の酸化膜であることを特徴とする低温ドライエッチング方法。

【請求項3】請求項2に記載の低温ドライエッチング方法において、上記基板の温度を-20℃以下に保ち、フッ素系ガス流量と不活性ガス流量との総流量を60cc/min以上流すようにしたことを特徴とする低温ドライエッチング方法。

【請求項4】請求項2または3に記載の低温ドライエッチング方法において、上記酸化膜がSiO<sub>2</sub>、あるいはSiO<sub>2</sub>にP、Ti、Ge、B、Ta、Er、Pr、Nd、Zn、Sn、Nなどのドーパントが少なくとも1種添加されたものであることを特徴とする低温ドライエッチング方法。

【請求項5】請求項4に記載の低温ドライエッチング方法において、上記フッ素系ガスとしてCHF<sub>3</sub>を用いたことを特徴とする低温ドライエッチング方法。

【請求項6】請求項5に記載の低温ドライエッチング方法において、CHF<sub>3</sub>ガス流量を30cc/min以上とし、不活性ガス流量とCHF<sub>3</sub>ガス流量の総量を60cc/min以上流し、かつ真空度を2.66Pa以下、プラズマを発生させる高周波パワを450W以上、基板の温度を-20℃以下にしたことを特徴とする低温ドライエッチング方法。

【請求項7】請求項1ないし6に記載の低温ドライエッチング方法において、上記不活性ガスがArガスであることを特徴とする低温ドライエッチング方法。

【請求項8】酸化膜付き基板の挿入/取出しを行う予備室と、フッ素系のガスと不活性ガスを供給でき、少なくともフッ素系ガス流量に不活性ガス流量を2倍以上重畳させて供給することが可能なエッチング用ガス供給系と、室内を2.66Pa以下に真空排気することが可能な排気系とを設けた少なくとも1つの反応室と、上記予備室と反応室とを接続するゲートバルブと、上記反応室内に設けられ一方の電極上に酸化膜付き基板が置かれる一対の電極と、該一対の電極間に300W以上の高周波パワを印加する手段と、上記少なくとも1つの反応室内の基板を0℃以下に保持する手段と、上記予備室に対して上記基板の挿入・取出し、及び予備室と少なくとも1つ

の反応室間の基板の移送をゲートバルブを通して行う搬送手段とを備え、少なくとも上記基板の酸化膜をエッチングすることのできる低温ドライエッチング装置。

【請求項9】請求項8に記載の低温ドライエッチング装置において、上記反応室の残りの少なくとも1つを、酸化膜上面のメタル膜をフォトリソマスクを用いてエッチングする反応室としたことを特徴とする低温ドライエッチング装置。

【請求項10】請求項8または9に記載の低温ドライエッチング装置において、上記酸化膜付き基板としてその裏面が平坦なものをを用い、上記一方の電極上に気密封止状態で置いた上記酸化膜付き基板の裏面に、反応室外からHeガスを供給して基板裏面をHeガス雰囲気保持するようにしたことを特徴とする低温ドライエッチング装置。

【請求項11】請求項8ないし10のいずれかに記載の低温ドライエッチング装置において、上記反応室に設けた排気系の口径面積を上記酸化膜付き基板の面積よりも大きくして上記2.66Pa以下の真空度を得るようにしたことを特徴とする低温ドライエッチング装置。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【産業上の利用分野】本発明は被エッチング材を低温度に保ち、その被エッチング材表面をドライエッチングする低温ドライエッチング方法およびその装置に関するものである。

## 【0002】

【従来の技術】最近、酸化膜や金属膜を垂直性良くドライエッチングする方法として、被エッチング用基板温度を0℃以下の低温度に保持・制御し、深さ方向のエッチング速度をイオンアシスト効果により維持したまま、側面でのラジカル反応を抑圧する、いわゆる低温ドライエッチング技術が注目されるようになってきた。

【0003】図9は本発明者が検討用に用いた反応性イオンエッチングによる低温ドライエッチング装置の概略構成図を示したものである。これはエッチングを行う反応室1と、被エッチング用基板としての試料10の挿入/取出しを行う予備室2とからなる。

【0004】まず、石英系ガラス基板で構成した試料10は試料挿入/試料取出し系12を介して予備室2に搬送される。その後、予備室2は排気系4により真空排気される。一方、反応室1内は予備室2からの試料10を受け入れるよう、排気系3にて高真空(1.33×10<sup>-1</sup>〜1.33×10<sup>-2</sup>Pa)に保たれている。また、試料10を載置するための下部電極5-2は、電極内に冷媒を矢印9-1から矢印9-2のように流すことによって、試料10を0℃以下の低温に保つようにしてある。

【0005】次に、予備室2が所望の真空度(1.33Pa以下)に達したら、気密バルブとしてのゲートバルブ11を開いて試料10を予備室2から反応室1の下部電

極5-2上に移送し、その下部電極5-2上に載置する。次いで試料10の裏面にHeガス供給系8の矢印方向にHeを吹き付けて試料10の低温化を促進させておく。

【0006】その後、上部電極5-1と下部電極5-2との間に高周波電源6を印加してプラズマを発生させ、そのプラズマ雰囲気中にエッチングガス（この場合、石英系ガラス膜をエッチングするために $\text{CHF}_3$ ガスを用いる。）を流しながらエッチングを行う方法である。この方法において、石英系ガラス膜のエッチングは、その膜上にパターンニングされた $\text{WSi}$ 膜をマスクに用いて行う。

#### 【0007】

【発明が解決しようとする課題】しかし、この方法において、試料10の温度（ $0^\circ\text{C} \sim 40^\circ\text{C}$ ）、反応室内の真空度（ $1.3 \times 10^{-3} \sim 1.33 \text{ Pa}$ ）、 $\text{CHF}_3$ のエッチングガス流量（ $10 \sim 50 \text{ cc/min}$ ）、高周波電源6のパワ（ $300 \sim 500 \text{ W}$ ）を種々変えてエッチングした膜側面の垂直性、膜側面の荒れ、サブトレンチ、エッチングレート及びエッチング選択比（＝（酸化膜のエッチングレート）／（ $\text{WSi}$ 膜のエッチングレート））を評価した結果、上記評価項目をすべて満足する条件を見い出すことができなかった。すなわち、

(1) 膜側面の垂直性を良くし、側面の荒れを小さくするには、 $\text{CHF}_3$ のガス流量を少なくし、高真空中に保たなければならないが、反面、エッチングレートは低下し、サブトレンチが大きく発生することがわかった。逆にエッチングレートを大きくし、サブトレンチを小さくするために、 $\text{CHF}_3$ の流量を多くすると、垂直性が劣化し、また側面の荒れも大きくなることがわかった。

【0008】(2) また $\text{CHF}_3$ ガスにより $\text{WSi}$ 膜もエッチングされて、そのパターン幅が次第に狭くなっていくことは避けられないが、 $\text{WSi}$ 膜と石英系ガラス酸化膜とのエッチング選択比を大きくしないと、 $\text{WSi}$ 膜のエッチングが早く進んでその幅が小さくなり、それに伴い石英系ガラス酸化膜のパターン幅が所望の値よりも著しく小さくなってしまふことがわかった。

【0009】(3) また真空度を悪くすると、エッチングレートは大きくなるが、垂直性が劣化し、かつ側面の荒れも大きくなることがわかった。

【0010】(4) また $\text{CHF}_3$ ガスは有害であり、量が多くなると人体へ危害を加えるばかりか、反応室内や排気系への反応生成物の付着を促進し、低温ドライエッチングの再現性を低下させ、しかも装置寿命の劣化を促進することもわかった。

【0011】そこで本発明の目的は、前記した従来技術の欠点を解消し、被エッチング材表面ないし基板上の酸化膜側面の垂直性、膜側面の荒れ、サブトレンチ、およびエッチングレート更には選択比のいずれについても全て満足する特性を実現することが可能な低温ドライエッ

チング方法およびその装置を提供することにある。

#### 【0012】

【課題を解決するための手段】まず、第1の発明は、予備室に挿入した被エッチング材を気密バルブを介して反応室に搬送し、反応室内で基板を $0^\circ\text{C}$ 以下の低温に保って被エッチング材表面をフッ素系ガスをを用いて低温ドライエッチングする際に、フッ素系ガス流量に不活性ガス流量を2倍以上重畳させて反応室内に流し、かつ反応室内の真空度を $2.66 \text{ Pa}$ 以下に保ってエッチングするようにしたことを特徴とする低温ドライエッチング方法である。

【0013】第2の発明は、第1の発明において、被エッチング材が酸化膜付き基板であり、低温ドライエッチングされる被エッチング材表面が酸化膜付き基板の酸化膜であることを特徴とする低温ドライエッチング方法である。

【0014】第3の発明は、第2の発明において、基板の温度を $-20^\circ\text{C}$ 以下に保ち、フッ素系ガス流量と不活性ガス流量との総流量を $60 \text{ cc/min}$ 以上流すようにしたことを特徴とする低温ドライエッチング方法である。

【0015】第4の発明は、第2及び第3の発明において、酸化膜として、 $\text{SiO}_2$ 、あるいは $\text{SiO}_2$ にP、Ti、Ge、B、Ta、Er、Pr、Nd、Zn、Sn、Nなどのドーパントが少なくとも1種添加されたものを用いたことを特徴とする低温ドライエッチング方法である。なお、酸化膜としては上記のものが好ましいが、これ以外に $\text{SiON}$ 、 $\text{SiO}_x\text{N}_y\text{H}_z$ でもよい。

【0016】第5の発明は、第4の発明において、フッ素系ガスとして $\text{CHF}_3$ を用いたことを特徴とする低温ドライエッチング方法である。

【0017】第6の発明は、第5の発明において、 $\text{CHF}_3$ ガス流量を $30 \text{ cc/min}$ 以上とし、不活性ガス流量と $\text{CHF}_3$ ガス流量の総量を $60 \text{ cc/min}$ 以上流し、かつ真空度を $2.66 \text{ Pa}$ 以下、プラズマを発生させる高周波パワを $450 \text{ W}$ 以上、基板の温度を $-20^\circ\text{C}$ 以下にしたことを特徴とする低温ドライエッチング方法である。

【0018】第7の発明は、第1から第6の発明において、不活性ガスがArガスであることを特徴とする低温ドライエッチング方法である。

【0019】第8の発明は、酸化膜付き基板の挿入／取出しを行う予備室と、フッ素系のガスと不活性ガスとを供給でき、少なくともフッ素系ガス流量に不活性ガス流量を2倍以上重畳させて供給することが可能なエッチング用ガス供給系と、室内を $2.66 \text{ Pa}$ 以下に真空排気することが可能な排気系とを設けた少なくとも1つの反応室と、予備室と反応室とを接続するゲートバルブと、反応室内に設けられ一方の電極上に酸化膜付き基板が置かれる一対の電極と、この一対の電極間に $300 \text{ W}$ 以上の高周波パワを印加する手段と、少なくとも1つの反応室内の基板を $0^\circ\text{C}$ 以下に保持する手段と、予備室に対して上

記基板の挿入・取出し、及び予備室と少なくとも1つの反応室間の基板の移送をゲートバルブを通して行う手段とを備え、少なくとも基板の酸化膜をエッチングすることのできる低温ドライエッチング装置である。

【0020】第9の発明は、第8の発明において、反応室の残りの少なくとも1つを、酸化膜をエッチングする反応室以外として、酸化膜上面のメタル膜をフォトリソマスクを用いてエッチングする反応室としたことを特徴とする低温ドライエッチング装置である。

【0021】第10の発明は、第8及び第9の発明において、酸化膜付き基板としてその裏面が平坦なものを用い、一方の電極上に気密封止状態で置いた上記酸化膜付き基板の裏面に、反応室外からHeガスを供給して基板裏面をHeガス雰囲気中に保持するようにしたことを特徴とする低温ドライエッチング装置である。

【0022】第11の発明は、第8ないし第10の発明において、反応室に設けた排気系の口径面積を酸化膜付き基板の面積よりも大きくして上述した2.66Pa以下の真空度を実現できるようにしたことを特徴とする低温ドライエッチング装置である。

【0023】

【作用】第1の発明ないし第2の発明は、フッ素系ガス流量に不活性ガス流量を2倍以上重畳させて流すことによって、フッ素系ガスは勿論のこと、エッチング用ガスのトータル流量を増やす方法である。フッ素系ガス流量は、エッチングの評価項目において、垂直性、側面の平滑性と、サブトレッチ、エッチングレートとで相反する結果が生じる。

【0024】すなわち、フッ素系ガスの増大は、垂直性および側面の平滑性を劣化させるが、サブトレッチ、エッチングレートは改善される。そこで、このようにフッ素系ガスおよびトータル流量を増やしてやることで、垂直性、側面の平滑性と、サブトレッチ、エッチングレートとの両立を図っている。

【0025】しかし、トータル流量を増やすと真空度が低下する。そこで、本発明では高速・高真空排気の可能なポンプを用いて真空度を2.66Pa以下にする。その結果、エッチングした基板表面ないし酸化膜側面の垂直性および側面の荒れを良好に保つことができる。これは、特に基板上に形成した酸化膜からなる導波路のコアパターンをドライエッチングにより断面略矩形状に加工する上では極めて良好な結果をもたらす。

【0026】たとえば、光分波器、光合波器、光フィルタ、光方向性結合器などのような波長選択機能をもった導波路型光デバイスを実現する場合、コア側面の垂直性が乱れると、上記光デバイスの波長特性（たとえば、中心波長とか、2つの波長間の分離度など）が変化してしまう。またコア側面の荒れも上記波長特性の変化は勿論のこと、光伝搬損失の増大も招く。従って、側面を90°に垂直性良く、かつ側面の荒れを少なくすることは極

めて重要となる。

【0027】他方、本発明ではフッ素系ガスの流量を多くしているので、サブトレッチがほとんど発生しなくなると共に、エッチングレートも向上する。このサブトレッチの形状は後述するが、これの発生も光デバイスの波長特性を劣化させ、また損失の増大も招く。さらに、導波路のコア内への光の閉じ込めが不均一になり、偏光依存性を生じさせるので、上記波長選択機能をもった光デバイスを実現する上で、従来大きな障害となっていた。しかし、本発明によれば、これも改善できることから、極めて大きな効果が得られる。

【0028】なお、フッ素系ガスの増大は、前述したように、垂直性および側面の平滑性を劣化させるが、本発明ではフッ素系ガスに不活性ガスを2倍以上に重畳して流しているので、垂直性及び側面の平滑性の劣化を防ぐことができる。

【0029】また、フッ素系ガスの増大は、酸化膜に対するエッチング選択比が小さくなり、コアパターン幅の目減り量が大きくなるという問題があったが、フッ素系ガスに不活性ガスを重畳させることで選択比を大幅に向上させることができる。

【0030】第3の発明によれば、基板温度が低くなればなる程、エッチングした表面への反応生成物がつき易くなってサブトレッチが発生する。そこで、フッ素系ガス流量と不活性ガス流量のトータル流量を60cc/min以上流してサブトレッチの発生を抑圧するようにしたものである。

【0031】なお、本発明のように、エッチング中の基板温度を-20℃以下に保ってエッチングすることは、例えば、導波路の中、あるいは上面に予め電子回路素子あるいは、光回路素子を形成しておいた状態の基板をエッチングする場合に、上記素子のダメージレスに極めて有効である。なぜならば、導波路のコアの厚みは、通常、3μm以上、数10μmと非常に厚いので、ドライエッチング時間も1時間以上の長時間にわたる。このような長時間、基板を高温状態（通常、冷却しない場合には数百℃の高温状態になる。）にさらしておくと、上記素子にダメージを与えるばかりか、コア、あるいはバッファ層内の屈折率制御用ドーパントの移動による屈折率分布の変化やOH<sup>-</sup>の移動をもたらす、光学特性の劣化を生じさせるからである。

【0032】第4の発明のように、エッチングする酸化膜として、SiO<sub>2</sub>は勿論のこと、SiO<sub>2</sub>にP、Ti、Ge、B、Ta、Zn、Sn、Zr、Er、Pr、Nd、Nなどの屈折率制御用、熱膨張係数制御用、機能性付加用などのドーパントが少なくとも1種添加されたものに適用すれば、これを容易にエッチングすることができる。しかも、前述したように、低温プロセスであるので、ドーパントの拡散などが全く生ぜず、プロセスの過程で所望の光学特性の劣化を未然に予防することがで

きる。これは高精度な導波路を実現する上で極めて有効である。

【0033】また、上記酸化膜をエッチングするマスク材として、メタル膜（例えば、W、Si、Ta、Ti、Al、Ni、Crなどの金属膜）、レジスト膜などを用いても、エッチング中に高温に曝されることがないので、上記メタル膜、あるいはレジスト膜が変質することがなく、安定にエッチングすることができる。その結果、コアパターン幅の目減り量が極めて少ないものを実現することができ、所望の光学特性をもった光デバイス

を設計通りに作成できる。

【0034】第5の発明によれば、上記酸化膜をエッチングするガスとして、 $\text{CHF}_3$  ガスが好ましいが、それ以外に、 $\text{C}_2\text{F}_6$ 、 $\text{C}_3\text{F}_8$ 、 $\text{C}_4\text{F}_8$ 、 $\text{CF}_4$  などのフッ素系ガス、あるいは上記ガスを少なくとも1種混合したガス、さらには $\text{C}_2\text{H}_4$ などを添加したものでもよい。

【0035】第6の発明によれば、プロセスパラメータである $\text{CHF}_3$  ガス流量を30cc/min以上とし、不活性ガス流量と $\text{CHF}_3$  ガス流量の総量を60cc/min以上流し、かつ真空度を2.66Pa以下、プラズマを発生させる高周波パワを450W以上、基板の温度を $-20^\circ\text{C}$ 以下という最適な値に規定したので、エッチング評価項目のすべてを一層良好に満足することができる。

【0036】第7の発明によれば、不活性ガスをArガスとしたので、エッチング評価項目のすべてを一層安定に満足することができる。特に、コアパターンの目減り量の点では、実施例で詳述するように、Heや $\text{N}_2$ 等の不活性ガスに比較して、Arガスを用いる方がより選択比を大きくできるため、目減り量が少ないという効果がある。

【0037】第8の発明によれば、反応室に、フッ素系のガス流量に不活性ガス流量を2倍以上重畳させて供給することが可能なガス供給系と、室内を2.66Pa以下に真空排気することが可能な排気系とをもたせている。またエッチングレートを高めるために反応室内の電極間に300W以上の高周波パワを印加させ、反応室内の基板を $0^\circ\text{C}$ 以下に保持させるようにしてある。しかも予備室を介して挿入・取出しを行なう様にするとともに、予備室と反応室とを気密性のゲートバルブで接続してこれらの室間を自動的に搬送するようにしてあるので、垂直性、側面の平滑性、サブトレレンチ、コア幅の目減り、エッチングレートなどの諸特性をすべて満足したエッチングを行うことができる。

【0038】第9の発明によれば、反応室の残りの少なくとも1つを、酸化膜上面のメタル膜をエッチングする反応室とすることによって、酸化膜上面のメタル膜をエッチングした後、連続して酸化膜をエッチングすることができ、また両室はゲートバルブを介して接続されているため基板を大気中に取り出さなくても良いので、ごみ

や不純物等の付着によるパターンの欠陥を防止することができる。また、大気中に出ないので、大気中OH<sup>-</sup>（水酸基イオン）が酸化膜に付着したり、酸化膜中に拡散することがなく、低損失な導波路を製造することができる。

【0039】第10の発明のように、酸化膜付き基板としてその裏面が平坦なものを用いるとともに、酸化膜付き基板の裏面と電極との間を気密封止して、基板の裏面をHeガス雰囲気中に保持するようにすると、Heガスは反応室内にリークすることなく、基板裏面をHe雰囲気中に保持することができ、効率的に基板を低温に保持させることができる。

【0040】第11の発明のように、反応室の排気系の口径面積を酸化膜付き基板の面積よりも大きくすると、高速、かつ確実に2.66Pa以下の真空度が得られる。

【0041】

【実施例】図1に本発明の反応性イオンエッチングによる低温ドライエッチング装置の第1の実施例を示す。ここでは被エッチング材として後に詳述する導波路試料10（図2（a）参照）を用いた。

【0042】この装置は、ドライエッチングを行う2つの反応室1-1、1-2と、各反応室内をそれぞれ真空排気する排気系3-1、3-2、各反応室に搬送する前に真空状態を作る予備室2が設けられている。さらに、その予備室2内を真空排気する排気系4、一方の反応室1-1と予備室2をつなぐケーブルバルブ11-1、他方の反応室1-2と予備室2をつなぐゲートバルブ11-2、一方の反応室1-1内へエッチングガス（ $\text{NF}_3$ 、 $\text{CF}_4$ など）を供給するガス供給系14、他方の反応室1-2内へエッチングガス $\text{CHF}_3$ を供給する $\text{CHF}_3$ ガス供給系7が設けられている。

【0043】また反応室1-2には、上記エッチングガス $\text{CHF}_3$ 流量に2倍以上のArガス流量を重畳させて反応室1-2内に導入するためのArガス供給系21が設けられている。このArガスの導入は酸化膜を垂直性良く、かつ側面荒れが少なく、さらにサブトレレンチの発生を抑えると共に、エッチング後の酸化膜（コア）パターン幅の減少（目減り）を低減するのに極めて有効である。なお、Arガスの代りに、He、 $\text{N}_2$ などの不活性ガスを用いても同様な効果を期待することができる。

【0044】さらに、図1の装置には、一方の反応室1-1内に設置した上部電極13-1と試料10を載せる下部電極13-2との間に印加する高周波電源6-1、他方の反応室1-2内に設置した上部電極5-1と試料10を載せる下部電極5-2との間に印加する高周波電源6-2、各反応室1-1および1-2内の下部電極13-2及び5-2上の試料10を低温に冷却するために矢印9-1から9-2で示した方向に冷媒を流す冷媒循環系9を備える。図示例から分かるように、本実施例の反応室はいずれも、平行平板反応性イオンエッチング装

置を構成している。このうち、冷媒循環系9を設けた反応室1-1および1-2により低温ドライエッチングが行なわれる。

【0045】また各反応室1-1および1-2内の試料10を載せる下部電極13-1および5-2の中央部に試料10を嵌め込む穴13-21および5-21をそれぞれ設け、試料10の裏面と下部電極13-1または5-2との間をリングにより気密封止できるようにしてある。下部電極13-1および5-2には、この気密封止部に通じるHeガス供給系8を設け、試料10の裏面へHeガスを吹き付けて試料10の低温化を促進できるようにしている。

【0046】さらに、予備室2内へ試料10を挿入し、予備室2から試料を取り出す試料挿入/試料取出し系12、そして結露を防ぐために予備室2内へガス(N<sub>2</sub>、Ar、O<sub>2</sub>、O、Heなど)を導入するためのガス供給系15、さらに図示しないが予備室2と2つの反応室1-1、1-2間を試料10を移送する移送系を備える。この移送系と上記試料挿入/試料取出し系12とから搬送手段が構成される。次に、この低温ドライエッチング装置を用いてドライエッチングする方法を図2と照らし合わせて説明する。

【0047】まず、予備室2の試料挿入/試料取出し系12から挿入される試料を図2(a)で説明する。試料は厚み1mm、直径3インチのSiO<sub>2</sub>基板を用いた。この基板の裏面は平坦に加工されている。SiO<sub>2</sub>基板の代わりにSi、InP、GaAsなどの半導体、石英系および多成分系のガラス、LiNbO<sub>3</sub>、LiTaO<sub>3</sub>などの誘電体、磁性体などを用いても良い。この試料は基板16上に順にバッファ層20とコア層19とWSi膜18が形成されており、WSi膜18の上にフォトレジストパターン17がパターンニングされているものである。

【0048】バッファ層20はSiO<sub>2</sub>からなり、厚さ約10μmである。コア層19には酸化膜が用いられる。例えば、SiO<sub>2</sub>にTiO<sub>2</sub>、GeO<sub>2</sub>、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>などの屈折率制御用添加物を0.数重量%から10数重量%添加した膜、あるいはSiON、SiO<sub>x</sub>N<sub>y</sub>H<sub>z</sub>などである。この実施例ではSiO<sub>2</sub>にTiO<sub>2</sub>を1重量%添加した膜(膜厚約8μm)を用いた。WSi膜18はコア層19をエッチングするためのマスク材となることから、厚さ約1μmに形成されている。フォトレジストパターン17はWSi膜18をドライエッチングによりパターン化するためのマスク材であり、その膜厚は選択比の関係から0.5~1μmに選ばれている。

【0049】さて、この図2(a)の試料10を、図1に示す予備室2内に挿入後、ガス供給系15の矢印方向から予備室2内に、露点が-60℃以下のN<sub>2</sub>ガス(あるいはAr、He、O<sub>2</sub>などのガスでもよい。)を流しながら(ガス流量100cc/min)、予備室2内を排気系

4で真空排気して乾燥させる。これに併せて2つの反応室1-1及び1-2も排気系3-1、3-2で真空排気する。予備室2および反応室1-1、1-2内の真空度を1.33×10<sup>-1</sup>Pa以下に保った後、一方の反応室1-1につながるゲートバルブ11-1を開いて試料10を予備室2から反応室1-1へ搬送し、下部電極13-2上に載置する。そして、冷媒循環系9とHeガス供給系8とにより、基板を-40℃に冷却する。次にゲートバルブ11-1を閉じ、ガス供給系14の矢印方向からNF<sub>3</sub>ガスを20cc/min流し、上部電極13-1と下部電極13-2との間に高周波電源6-1(高周波パワ20W)を印加し、両電極間13-1と13-2間にプラズマを発生させた。この時の反応室1-1内の真空度は1.33Paになるように排気系3-1を設定した。その結果、約6分でWSi膜18のエッチングは終了した。この状態の試料を図2(b)に示す。エッチングされたWSiパターンの幅はフォトレジストパターン幅に対してわずかに1%の幅減りしかなかった。これは低温エッチングのため、フォトレジストの損傷やエッチングがほとんどなかったためと考えられる。また、エッチングされたWSi側面も極めて平滑であった。

【0050】次に、ガス供給系14から供給するエッチングガスをNF<sub>3</sub>ガスからCF<sub>4</sub>ガスに切り換え、同様にしてプラズマ雰囲気下でエッチングを行い、表面のフォトレジストパターンの膜を取り除いた(図2(c))。

【0051】その後、ガス供給系14を閉じてCF<sub>4</sub>ガスの供給を止め、高周波電源6-1をオフ後、ゲートバルブ11-1を開いて、試料10を予備室2内に移送系により送り返した。そして再び予備室2内にN<sub>2</sub>ガスを100cc/min流しつつ、高真空排気を行った。

【0052】次に、他方の反応室1-2内の下部電極5-2内に循環系9から冷媒を矢印9-1から9-2のように流し、下部電極5-2も低温(この実施例では-40℃)に制御した。そして高速のターボ分子ポンプを備え、口径面積が基板の面積よりも大きい排気系3-2で高真空排気(1.33×10<sup>-2</sup>Pa以下)された反応室1-2内に試料10を搬送した。

【0053】すなわち、他方の反応室1-2につながるゲートバルブ11-2を開き、予備室2から反応室1-2の下部電極5-2上に試料を搬送する。下部電極5-2上に試料10を載せた後、Heガスを試料10の裏面へ矢印方向から5cc/min吹きつけて、試料10をHeガスによりHe雰囲気にして、-40℃の低温化を促進した。このHeガスは反応室1-2内には漏れ出ないように、試料10を下部電極5-2上にクランプしてある。すなわち、試料10の裏面へHeの一定ガス圧が加わるように構成されている。

【0054】このようにして試料10を所望の低温(-40℃)に保ち、真空排気しつつガス供給系7の矢印方

向から $\text{CHF}_3$  ガスを流し、上部電極5-1と下部電極5-2間に高周波電源6-2を印加し、プラズマを発生させてコア層19の低温ドライエッチングを行った。この状態を図2(d)に示す。

【0055】反応室1-2でのエッチング終了後、ガス供給系7、21を閉じて $\text{CHF}_3$  ガス及びArガスを止め、高周波電源6-2をオフとし、ゲートバルブ11-2を開いて、試料10を $\text{N}_2$  ガスが100cc/min流されつつ真空排気されている予備室2内へ移送した。移送後、再度一方の反応室1-1につながるゲートバルブ11-1を開き、試料10を予備室2から反応室1-1の下部電極13-2上に載置した。そしてガス供給系14の矢印方向から $\text{NF}_3$  ガスを流し、上部電極13-1と下部電極13-2との間に高周波パワ(20W)を印加しつつ、1.33Paの真空度に保ちながらコアパターン19上のWSi膜18をドライエッチングにより取り除き、図2(e)の構造を得た。

【0056】その後、ガス供給系14を閉じて $\text{NF}_3$  ガスを止め、高周波電源6-1をオフし、ゲートバルブ11-1を開いて試料10を予備室2内へ搬送した。次に、しばらく $\text{N}_2$  ガスを流しつつ真空排気をした後、予備室2内の真空排気を止め、 $\text{N}_2$  ガスの導入を引続き行って予備室2内を $\text{N}_2$  ガスで充満させ、予備室2内の真空を解除して試料10を大気中へ取り出した。

【0057】以下に、上述したプロセスにしたがった種々の実験例を示す。この実験例には、本発明方法による実施例の他に、従来の方法による比較例を含めた。

【0058】(比較例1)真空度を1.33Paに保ち、高周波パワ(RFパワ)を300Wとして、 $\text{CHF}_3$  ガスを10cc/min流しながら90分間エッチングを行った。その結果、エッチングしたコア側面の垂直性は図3(a)に示すごとく、良好であった。また側面荒れも図4(a)のごとく良好であった。しかしエッチングレートは400オングストローム/min(以下、Å/min)と低く、また図5に示すごとく、コア側面22に反応生成物24が付着し、これによりサブトレッチ23が発生した。このサブトレッチ23は、前述したように、導波路の構造の不均一性による散乱損失を増大させると共に、波長特性や偏光特性を劣化させる。さらにコア幅の目減り量はWSi幅に比し、10%近い値であり、これも問題であった。

【0059】なお、図3(b)に示すコア側面は、 $\text{CHF}_3$  ガスが10cc/minよりも少ない場合を示している。

【0060】(比較例2)真空度を1.33Paに保ち、高周波パワを300Wとして、 $\text{CHF}_3$  ガスを40cc/min流しながら90分間エッチングを行った。その結果、エッチングしたコア側面の垂直性は図3(c)のごとくデーパー状になった。つまり、垂直性は劣化した。またその側面も図4(b)に示すごとく荒れを生じた。逆にエッチングレートは500Å/minと増大し、また図5のよ

うなサブトレッチ23も殆ど無くなった。さらにコア幅の目減り量は第1の実験よりも悪くなった。

【0061】(比較例3)真空度を2.66Paに保ち、後は比較例1と同じ条件にしてエッチングを行った。その結果、垂直性、側面の荒れはいずれも劣化し、またサブトレッチも発生した。その代わりに、エッチングレートは約1.2倍に増大した。この場合も、コア幅の目減り量は第1の実験よりも悪くなった。

【0062】(比較例4)試料の温度を-40℃から0℃に変更し、残りの条件は比較例1の条件と同じでエッチングを行った。その結果、垂直性、側面の荒れはいずれも劣化したが、サブトレッチは低減し、エッチングレートも増大した。この場合もコア幅の目減り量は益々大きくなった。

【0063】以上のように、垂直性、側面の荒れ、サブトレッチ、エッチングレート、コア幅の精度のすべてを満足する条件を得ることができなかった。そこで、本発明のArガスを $\text{CHF}_3$  ガスに重畳させる方法を検討した。

【0064】(比較例5)比較例1の条件に、Arガス流量を10cc/min重畳して流し、コア膜のエッチングを行った結果、コア側面はほぼ90°にエッチングされ、その側面の荒れは少なかった。しかし、サブトレッチは相変わらず発生している。更に、エッチングレートの向上もなかった。次に、Arガス流量を15cc/minに増やして見たが、あまり変化は見られなかった。但し、コア幅の目減り量はWSi幅に比し、3%以下であり、Arガスを重畳させることにより、コア幅の目減り量が大幅に低減することを確認した。

【0065】(実施例1)比較例2の条件に、Arガス流量を125cc/min重畳して流し、コア膜のエッチングを行った。その結果、垂直性、側面の平滑性は極めて良好であり、またサブトレッチもほとんど発生しなかった。さらにエッチングレートも比較例2とほぼ同等の大きな値を得ることができ、コア幅の目減り量も比較例5なみとなり、当初の目標をすべて満足する結果を得ることができた。また、この条件からArガス流量を少しずつ減らして同様な実験を行なった結果、Arガス流量が80cc/min以上から効果があることがわかった。

【0066】(実施例2)実施例1の条件において、 $\text{CHF}_3$  ガス流量を40cc/minから30cc/minに変更し、また真空度も1.33Paから1.995Paに変更して、約90分間のエッチングを行った。その結果、垂直性、側面の平滑性は共に良好であり、またサブトレッチもほとんど発生しなかった。エッチングレート、コア幅の目減り量もほとんど変わらなかった。また、この場合にもArガス流量は60cc/min以上から有効な効果がでることがわかった。

【0067】(実施例3)実施例2の条件において、高周波パワを300Wから450Wに変更し、同様に90



分間のエッチングを行った結果、エッチングレートは約1000Å/minに向上した。また垂直性、側面の平滑性、サブトレッチ、コア幅の目減り量ともいづれも良好であった。

【0068】これらを表1に示した。表1の結果をまとめて整理すると、プロセスパラメータと評価項目との関係は表2のようになることがわかった。なお、WSiと\*

\*酸化膜との選択比(=(酸化膜のエッチングレート)/(WSiのエッチングレート))は15以上の値であり、導波路用のコア膜をエッチングするのに十分な値であった。

【0069】

【表1】

	比較例					実施例		
	1	2	3	4	5	1	2	3
真空度 Pa	1.33	1.33	1.66	1.33	1.33	1.33	1.995	1.995
RF パワ W	300	300	300	300	300	300	300	450
CHF <sub>3</sub> cc/min	10	40	10	10	10	40	30	30
温度 °C	-40	-40	-40	0	-40	-40	-40	-40
Ar cc/min	-	-	-	-	10~15	80~125	60~125	60~125
垂直性	○	×	×	×	○	○	○	○
側面荒れ	○	×	×	×	○	○	○	○
サブトレッチ	×	○	×	○	×	○	○	○
エッチングレート	×	○	○	○	×	○	○	○
パターン幅減り	×	×	×	×	○	○	○	○
ダメージレス化	○	○	○	×	○	○	○	○

【0070】

【表2】

プロセスパラメータ 評価項目	CHF <sub>3</sub> 流量		Ar/CHF <sub>3</sub> 流量		真空度		RF パワ		温度	
	大	小	大	小	高	低	大	小	高	低
垂直性	×	○	○	×	○	×			×	○
側面の荒れ	×	○	○	×	○	×			×	○
サブトレッチ	○	×	○	×	○	×				
エッチングレート	○	×	○	×			○	×	○	×
パターン幅の減り	×	○	○	×	○	×			×	○
光素子、電子回路素子のダメージレス化									×	○
総合評価	中 ≥30 cc/min		大 ≥2 (トータル流量≥ 60cc/min)		高 ≤2.66Pa		大 ≥450W		低 ≤-20℃	

○印：良好、×印：悪い

【0071】すなわち、CHF<sub>3</sub> ガス流量は垂直性、側面の平滑性と、サブトレッチ、エッチングレートとの間に相反する結果が生ずるため、その中間の値をとり、≥

30cc/minとし、その分だけ Ar ガス流量を CHF<sub>3</sub> の2倍以上で総量は60cc/min以上流すことによって、垂直性と側面の平滑性の劣化を抑える。

【0072】真空度はできる限り高真空が望ましいことから、 $\leq 2.66$  Paとした。高周波パワは垂直性、側面の荒れ、サブトレントには直接的に影響せず、エッチングレートに寄与するため、できる限り高い方が望ましいことから $\geq 450$  Wとした。温度は導波路上あるいは中に形成されている光素子や電子回路素子にダメージを与えないため、垂直性、側面の平滑性を良くし、エッチングしたコアパターン幅の目減りを小さくするためにもできる限り低温( $\leq -20^\circ\text{C}$ )が好ましい。なお、図2において、 $\text{SiH}_4$ と $\text{N}_2\text{O}$ と $\text{N}_2$ ガスを用い、コア層19としてプラズマCVD法で形成した $\text{SiO}_x\text{N}_y\text{H}_z$ 膜を同様にエッチングしたが、前述の結果とほぼ同等の特性を得ることができた。

【0073】なお、本発明のように、フッ素系ガスにArガス流量を2倍以上重畳して流し、かつ反応室を2.66 Pa以下に高速排気するため、排気系3-2には排気速度が500 l/sec以上のターボ分子ポンプまたはロータリーポンプを用いて排気を行った。また排気系3-2の排気管には直径が6インチの大口径排気管を用いた。すなわち、エッチングする基板の面積(直径2インチ～直径5インチ)よりも大面積の口径を有する排気管を用いて排気することが必須条件となる。これも本実施例の低温ドライエッチング装置の特徴の一つである。

【0074】次に、上記低温ドライエッチング装置を用いて試作した導波路構成の光合分波器の試作結果について説明する。

【0075】図6(a)および(b)は導波路型光合分波器の概略図を示したもので、(a)は全体平面図、(b)は(a)のa-a'断面図をそれぞれ示したものである。まず(a)に示したように、矢印26のごとく光合分波器の入力端に入射した波長 $\lambda_1$ および $\lambda_2$ の光信号はコア25-1内を伝搬し、結合領域29内に達し、コア25-1とコア25-2間を干渉しながら伝搬して光合分波器の出力端から矢印27-1および27-2のごとく、波長 $\lambda_1$ および $\lambda_2$ の光信号がそれぞれ分波されて出力される。

【0076】この構成において、低損失で分波し、かつ波長分離度を良くするためには、前述したように、それぞれのコア25-1および25-2の側面の垂直性が良く、側面の荒れが小さく、サブトレントも小さく、かつそれぞれのコア25-1及び25-2の幅減りを小さく抑えなければならない。コア25-1および25-2の幅及び厚さWを $8\mu\text{m}$ 、コア25-1と25-2との間隔Sを $5.5\mu\text{m}$ とし、コア25-1(25-2)とクラッド28との比屈折率差を0.25%として試作した光合分波器の分波特性を評価した。その結果を図7の実線(本実施例の方法により作成した光合分波器)および点線(比較例の方法により作成した光合分波器)で示す。ただし、設計値では $\lambda_1 = 1.3\mu\text{m}$ 、 $\lambda_2 = 1.55\mu\text{m}$ とした。

【0077】本実施例の方法のものは、それぞれの分波すべき中心波長のずれがほとんどないのに対して、比較例の方法のものはかなりの中心波長のずれ(約 $0.12\mu\text{m}$ )が生じた。また伝搬損失も本実施例の方法のものが小さかった。これも側面の荒れ、サブトレントの大幅な低減に依存したものである。さらに、波長 $\lambda_1$ と $\lambda_2$ との間のアイソレーションも本実施例の方法のものは20数dB以上あるのに対し、比較例の方法のものは、ぎりぎり20dB程度のアイソレーションしか得られないことがわかった。以上のように、本実施例の方法は導波路の光学特性にも良好な結果が得られることがわかった。

【0078】図8は本発明の低温ドライエッチング装置を簡略化した第2の実施例を示したものである。これは、図1の装置において、反応室1-1を省略して、低温ドライエッチングの可能な反応室を1個だけ予備室2につないだ構成の低温ドライエッチング装置であり、図2(d)の低温ドライエッチングプロセスを行なう。

【0079】なお、本発明は上記実施例に限定されない。まず、反応室は3室、さらには4室以上でもよい。すなわち、反応室を1個または2個以上設けることによって、エッチングすべき膜を、1層膜、2層膜、3層膜、さらには多層膜からなるメタル、あるいは酸化物、あるいはメタルと酸化物の複合膜等とすることができ、これらの反応室はいずれも共通の予備室を介してつながるように構成される。

【0080】また、上記実施例1～3においては、Arガスを重畳させる場合について述べたが、Arガスに代えてHe或いは $\text{N}_2$ ガスを用いた場合のコアの垂直性、側面の平滑性、サブトレント、エッチングレートはArガスを用いた場合とほぼ同等であり、またHe或いは $\text{N}_2$ ガスを用いた場合の選択比は10以上、コア幅の目減り量はWSi幅に比し5%以下であり、十分に本発明の目的を達成することができることを確認している。

【0081】さらに、ドライエッチング装置は平行平板型反応性イオンエッチング装置に限定されるものではなく、他のドライエッチング装置であってもよい。また、上記実施例ではWSi膜等をエッチングする一方の反応室1-1でも低温ドライエッチングを行うようにしたが、反応室1-1内の下部電極13-2における冷媒循環系9およびHeガス供給系8による冷却を省略して、通常のドライエッチングを行うようにしても良い。また試料も上記実施例に限定されず、半導体IC用などの被エッチング材を用いることができる。

【0082】

【発明の効果】

(1) 請求項1に記載の発明によれば、エッチングした被エッチング材表面の側面の垂直性をほぼ $90^\circ$ に保ち、かつその側面の荒れおよびサブトレントをほとんど生じさせず、さらにエッチングレートも十分に大きい状態でエッチングすることができる。また不活性ガスを重

疊して流すことは $\text{CHF}_3$ ガスのような有害なガスを十分に希釈する作用が働くため、人体への危害を低減できる。また、反応室内や排気系への反応生成物の付着を大幅に低減する効果があり、低温ドライエッチングの再現性を高め、かつ装置寿命の劣化を予防することもできる。さらに、不活性ガスを重畳させたことにより、エッチングした酸化膜の幅減り量を小さく抑えることができる。

【0083】(2) 請求項2に記載の発明によれば、請求項1の効果に加え、エッチングする基板上、あるいは基板中に光素子や電子回路素子が形成されている場合には、これらにもダメージを与えることなくエッチングすることができる。これは、たとえば導波路のようなパターンをエッチングにより形成する場合に、所望の光学特性（損失特性、波長特性、偏波特性等）を容易に実現することが可能となる。

【0084】(3) 請求項3に記載の発明によれば、表面への反応生成物が付着しにくくなるため、サブトレんチの発生を抑圧することができる。

【0085】(4) 請求項4に記載の発明によれば、ドーパントの拡散などを生じずに、容易にエッチングすることができ、光学特性の劣化を未然に防止することができる。

(5) 請求項5に記載の発明によれば、酸化膜に適したエッチング用ガスを用いたので、エッチングを良好に行なうことができる。

【0086】(6) 請求項6に記載の発明によれば、エッチングのための各プロセスパラメータを最適な値に規定したので、エッチング諸特性のすべてを一層良好に満足させることができる。

【0087】(7) 請求項7に記載の発明によれば、不活性ガスを $\text{Ar}$ ガスとしたのでより安定にエッチングすることができる。加えて、エッチングした酸化膜の幅減り量低減の点で、 $\text{He}$ 、 $\text{N}_2$ 等の不活性ガスを用いる場合に比較して、優れた効果を奏する。

【0088】(8) 請求項8に記載の発明によれば、装置を良好な各プロセスパラメータが得られるように構成したので、エッチング諸特性のすべて満足したエッチングを行うことができる。

【0089】(9) 請求項9に記載の発明によれば、メタル膜のエッチング後、続けて酸化膜をエッチングできるため、作業効率が良く、しかもごみや不要な不純物等の付着あるいは混入を有効に防止できる。

【0090】(10) 請求項10に記載の発明によれば、反応室内に $\text{He}$ ガスをリークすることなく、効率的に基板を低温に保持することができる。

【0091】(11) 請求項11に記載の発明によれば、高速、かつ確実に所望の高真空度が得られる。

#### 【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の低温ドライエッチング装置の第1の実施例を説明するための装置の概略構成図。

10 【図2】本発明の低温ドライエッチング方法の実施例を説明するための導波路の製造工程図。

【図3】低温ドライエッチング条件の違いによるエッチング酸化膜の垂直性を示す説明図。

【図4】低温ドライエッチング条件の違いによるエッチング酸化膜の側面荒れを示す説明図。

【図5】低温ドライエッチングによるエッチング酸化膜のサブトレんチの発生状況を示す説明図。

【図6】本実施例の低温ドライエッチング装置を用いて試作した導波路構成の光合分波器の概略図。

20 【図7】図6に示す導波路型光合分波器の実施例と従来例との比較特性図。

【図8】本発明の低温ドライエッチング装置の第2の実施例を説明するための装置の概略構成図。

【図9】本発明の検討用に用いた低温ドライエッチング装置の概略構成図。

#### 【符号の説明】

1-1 反応室

1-2 反応室

2 予備室

3-1 排気系

30 3-2 排気系

4 排気系

5-21 穴

7  $\text{CHF}_3$ ガス供給系

8  $\text{He}$ ガス供給系

9 冷媒循環系

10 試料

11-1 ゲートバルブ

11-2 ゲートバルブ

12 試料挿入／試料取出し系

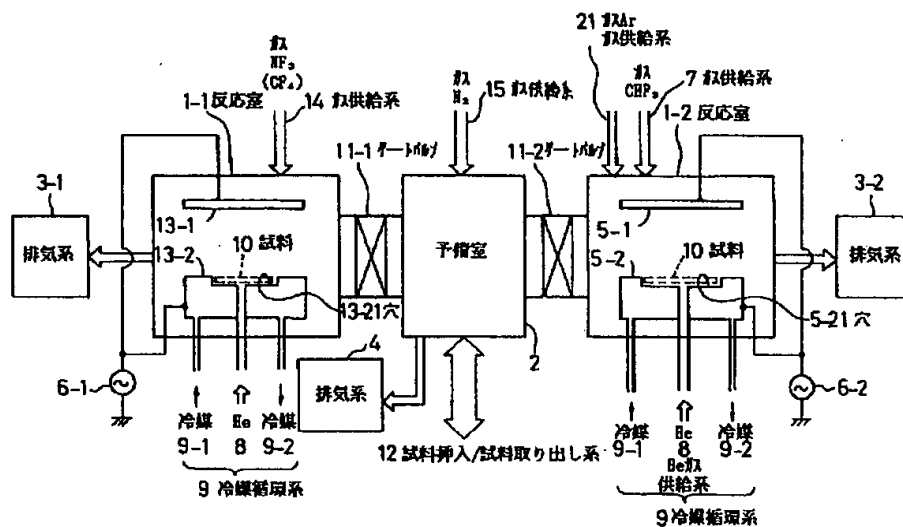
40 13-21 穴

14 ガス供給系

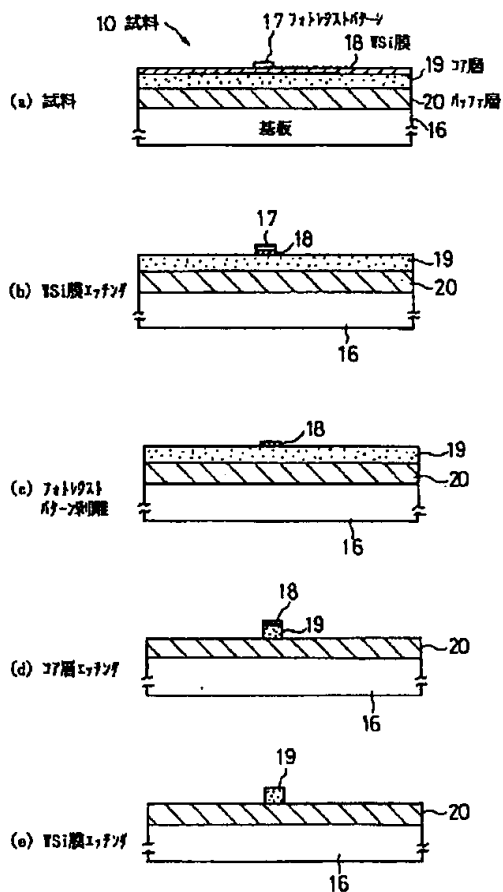
15 ガス供給系

21  $\text{Ar}$ ガス供給系

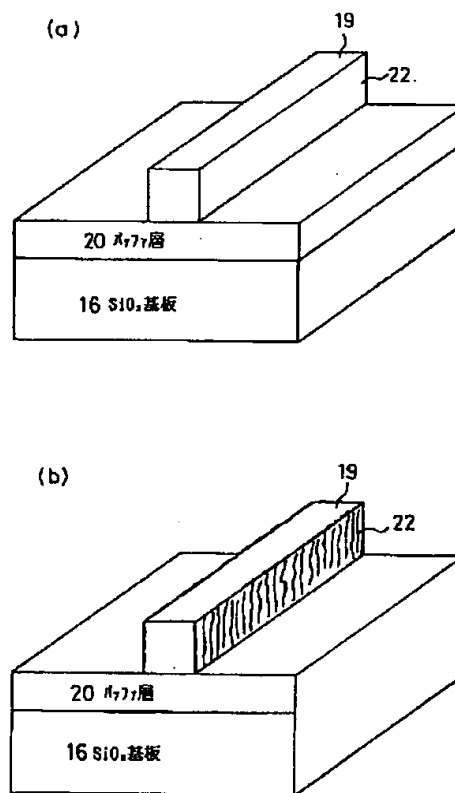
【図1】



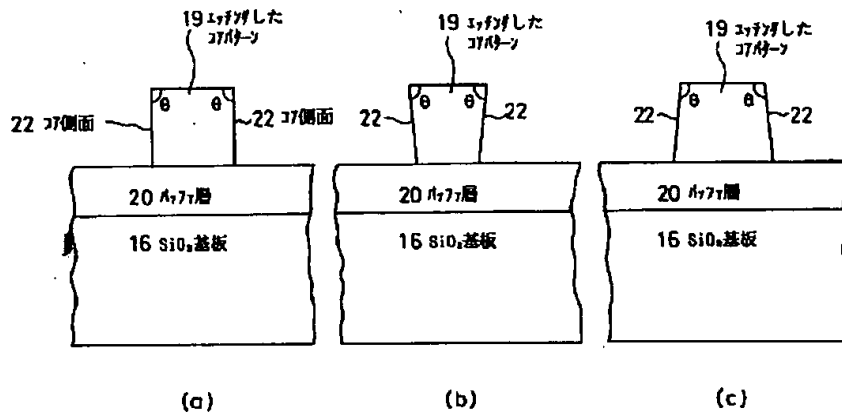
【図2】



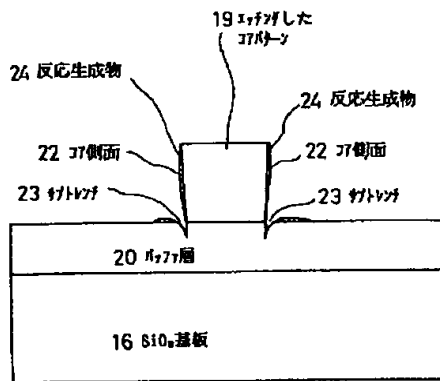
【図4】



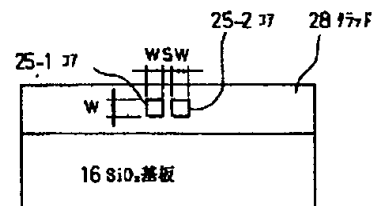
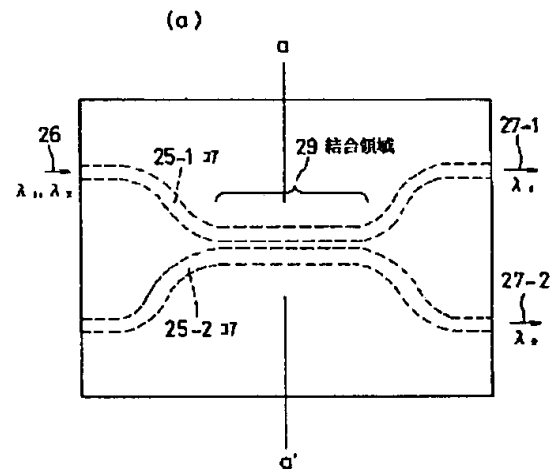
【図3】



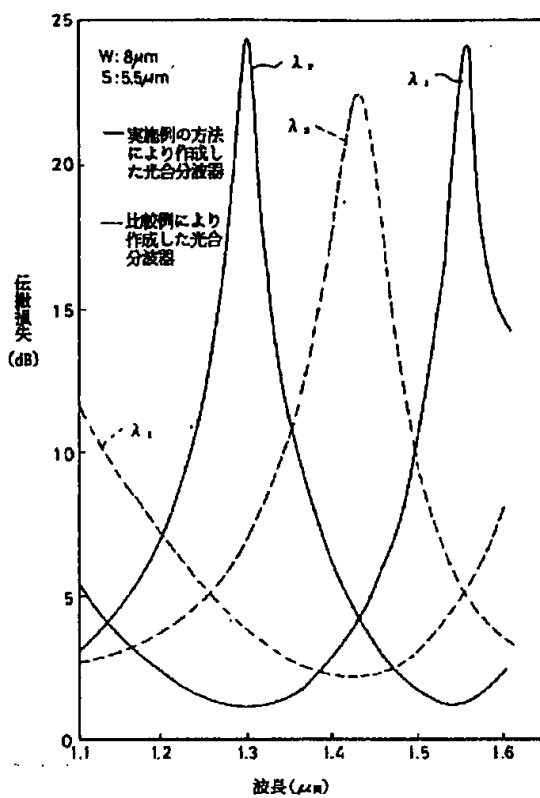
【図5】



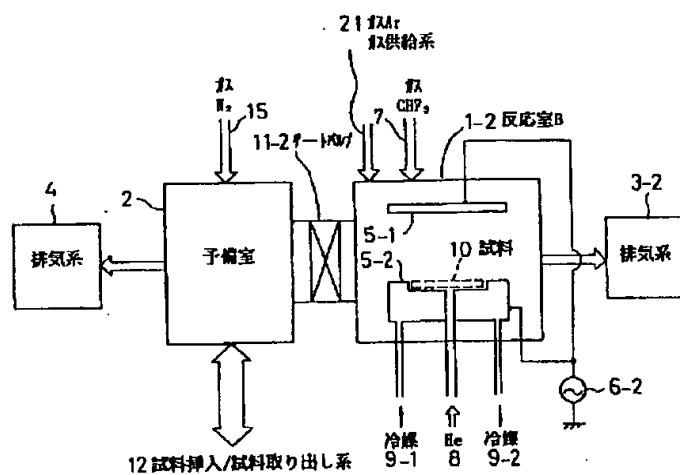
【図6】



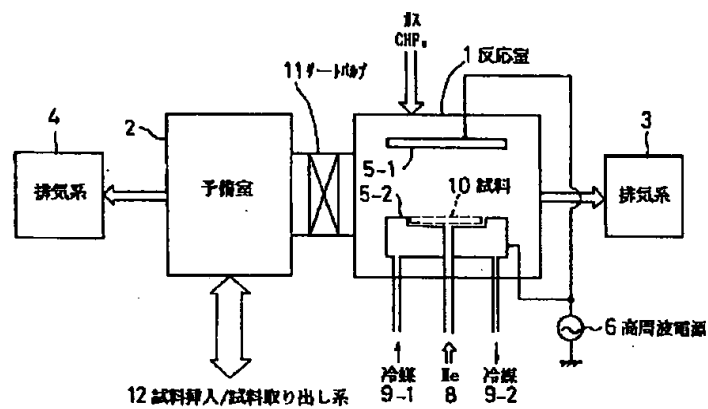
【図7】



【図8】



【図9】



# PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 07-228985

(43)Date of publication of application : 29.08.1995

(51)Int.Cl.

C23F 4/00  
C30B 33/08

(21)Application number : 06-020769

(71)Applicant : HITACHI CABLE LTD

(22)Date of filing : 18.02.1994

(72)Inventor : IMOTO KATSUYUKI

## (54) LOW TEMPERATURE DRY ETCHING METHOD AND DEVICE THEREFOR

### (57)Abstract:

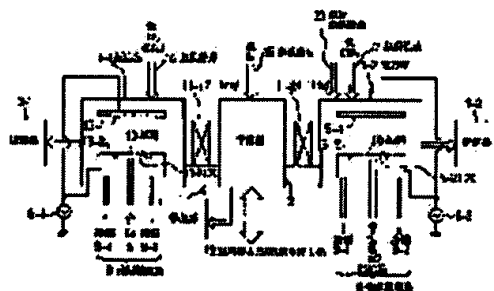
**PURPOSE:** To satisfy all of the characteristics of the side face of an oxide film on a substrate by controlling the dry etching conditions.

**CONSTITUTION:** A waveguide sample 10 as an oxide film-coated substrate is sent from a spare chamber 2 to a reaction chamber 1-1, and the WSi film and photoresist are etched off to form a core pattern. The sample 10 is introduced into a reaction chamber 1-2 through the spare chamber 2, and the core layer is dry-etched at a low temp. based on the core pattern. As the optimum

condition at this time, the substrate is controlled to  $\leq -20^{\circ}$

C, the gaseous Ar flow rate is superimposed on the gaseous CHF<sub>3</sub> flow rate by  $\geq 2$  times in the gaseous etchant, and the total flow rate is controlled to  $\geq$

60cc/min. The reaction chamber 1-2 is kept at : 2.66 Pa, and the power of a high-frequency power source 6-2 applied between the electrodes is controlled to  $\geq 450$ W. After etching, the sample is returned to the reaction chamber 1-1 to remove the WSi film on the core pattern, and finally the sample 10 is discharged into the atmosphere from one spare chamber 2.



## LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

25.11.1996

[Date of sending the examiner's decision of



rejection]

[Kind of final disposal of application other than  
the examiner's decision of rejection or  
application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number] 2876976

[Date of registration] 22.01.1999

[Number of appeal against examiner's  
decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's  
decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

[MENU](#) [SEARCH](#) [INDEX](#) [DETAIL](#) [JAPANESE](#)

1 / 1

\* NOTICES \*

JPO and NCIPi are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

- 1.This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
- 2.\*\*\*\* shows the word which can not be translated.
- 3.In the drawings, any words are not translated.

---

CLAIMS

---

[Claim(s)]

[Claim 1] The etched material inserted in a spare room is conveyed to a reaction chamber through an airtight bulb. In case the above-mentioned substrate is maintained at low temperature 0 degree C or less in this reaction chamber and low-temperature dry etching of the front face of the above-mentioned etched material is carried out using fluorine system gas The low-temperature dry etching approach characterized by making the flow rate of inert gas superimpose on the flow rate of the above-mentioned fluorine system gas more than twice, keeping the degree of vacuum in a sink and the above-mentioned reaction chamber at 2.66Pa or less in the above-mentioned reaction chamber, and making it etch.

[Claim 2] The low-temperature dry etching approach characterized by for the above-mentioned etched material being a substrate with an oxide film, and the etched material front face by which low-temperature dry etching is carried out being the oxide film of the above-mentioned substrate with an oxide film in the low-temperature dry etching approach according to claim 1.

[Claim 3] The low-temperature dry etching approach characterized by keeping the temperature of the above-mentioned substrate at -20 degrees C or less, and passing 60 or more cc/min of total flow of a fluorine system quantity of gas flow and an inert gas flow rate in the low-temperature dry etching approach according to claim 2.

[Claim 4] It sets to the low-temperature dry etching approach according to claim 2 or 3, and the above-mentioned oxide film is SiO<sub>2</sub> or SiO<sub>2</sub>. The low-temperature dry etching approach characterized by adding at least one sort of DOPANDO, such as P, Ti, germanium, B, Ta, Er, Pr, Nd, Zn, Sn, and N.

[Claim 5] It sets to the low-temperature dry etching approach according to claim 4, and is CHF<sub>3</sub> as the above-mentioned fluorine system gas. The low-temperature dry etching approach characterized by using.

[Claim 6] It sets to the low-temperature dry etching approach according to claim 5, and is CHF<sub>3</sub>. A quantity of gas flow is made into 30 or more cc/min, and it is an inert gas flow rate and CHF<sub>3</sub>. The low-temperature dry etching approach characterized by making temperature of more than 450W and a substrate into -20 degrees C or less for RF PAWA which a 60 or more cc/min sink is generated for the total amount of a quantity of gas flow, and generates 2.66Pa or less and the plasma for a degree of vacuum.

[Claim 7]

\* NOTICES \*

JPO and NCIPi are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

1. This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
2. \*\*\*\* shows the word which can not be translated.
3. In the drawings, any words are not translated.

---

DETAILED DESCRIPTION

---

[Detailed Description of the Invention]

[0001]

[Industrial Application] This invention maintains etched material at low temperature, and relates to the low-temperature dry etching approach which carries out dry etching of the etched material front face, and its equipment.

[0002]

[Description of the Prior Art] The so-called low-temperature dry etching technique which oppresses the radical reaction in a side face has come to attract attention, considering as the approach of perpendicularity improving an oxide film and a metal membrane dry etching, holding and controlling the substrate temperature for [ etched ] at the low temperature of 0 degree C or less, and maintaining the etch rate of the depth direction according to the ion assistant effectiveness recently.

[0003] Drawing 9 shows the outline block diagram of the low-temperature dry etching system by reactive ion etching which this invention person used for examination. This consists of a reaction chamber 1 which etches, and a spare room 2 which performs insertion/drawing of the sample 10 as a substrate for [ etched ].

[0004] First, the sample 10 constituted from a quartz system glass substrate is conveyed through sample insertion / sample drawing system 12 in a spare room 2. Then, evacuation of the spare room 2 is carried out by the exhaust air system 4. On the other hand, the inside of a reaction chamber 1 is maintained at the high vacuum ( $1.33 \times 10^{-1}$  to  $1.33 \times 10^{-2}$  Pa) by the exhaust air system 3 so that the sample 10 from a spare room 2 may be accepted. Moreover, the lower electrode 5-2 for laying a sample 10 has maintained the sample 10 at low temperature 0 degree C or less by pouring a refrigerant in an electrode like an arrow head 9-1 to the arrow head 9-2.

[0005] Next, if a spare room 2 reaches a desired degree of vacuum (1.33Pa or less), the gate valve 11 as an airtight bulb will be opened, a sample 10 will be transported on the lower electrode 5-2 of a reaction chamber 1 from a spare room 2, and it will lay on the lower electrode 5-2. Subsequently, helium is sprayed on the rear face of a sample 10 in the direction of an arrow head of the helium gas supply system 8, and low temperature-ization of a sample 10 is promoted.

[0006] Then, it is the approach of impressing RF generator 6 between the up electrode 5-1 and the lower electrode 5-2, making generate the plasma, and etching etching gas (it being CHF<sub>3</sub> in order to etch quartz system glass membrane in this case. gas being used) with a sink into that plasma ambient atmosphere. In this approach, etching of quartz system glass membrane is performed by using for a mask the WSi film by which patterning was carried out on that film.

[0007]

[Problem(s) to be Solved by the Invention] In this approach However, the temperature (0 degree C - -40 degrees C) of a sample 10, the degree of vacuum in a reaction chamber ( $13.3$ - $1.33$ Pa), CHF<sub>3</sub> An etching gas flow rate (10 - 50 cc/min), perpendicularity of the film side face which changed and etched various PWA (300-500W) of RF generator 6, As a result of evaluating the dry area, the sub trench, the etching rate, and etch selectivity (= (etching rate of oxide film) / (etching rate of the WSi film)) of a film side face,

the conditions with which are satisfied of all the above-mentioned evaluation criteria were not able to be found out. Namely, (1) It is CHF<sub>3</sub>, in order to improve perpendicularity of a film side face and to make the dry area of a side face small. Although the quantity of gas flow had to be lessened and it had to maintain at the high vacuum, on the other hand, it turned out that an etching rate falls and a sub trench is generated greatly. Conversely, it is CHF<sub>3</sub>, in order to enlarge an etching rate and to make a sub trench small. When the flow rate was made [ many ], it turned out that perpendicularity deteriorates and the dry area of a side face also becomes large.

[0008] (2) Moreover, CHF<sub>3</sub> It turned out that etching of the WSi film will progress early and the width of face will become small if etch selectivity with a WSi film and quartz system glass oxide film is not enlarged, although it is not avoided that the WSi film is also etched by gas and the pattern width of face becomes gradually narrow, and it becomes remarkably small in connection with it rather than the value of a request of the pattern width of face of a quartz system glass oxide film.

[0009] (3) Moreover, it turned out that perpendicularity deteriorates and the dry area of a side face also becomes large about a degree of vacuum although an etching rate becomes large if the worst happens.

[0010] (4) Moreover, CHF<sub>3</sub> When gas is harmful and the amount increased, adhesion of the resultant to the inside of about [ inflicting an injury on the body ] and a reaction chamber or an exhaust air system was promoted, the repeatability of low-temperature dry etching was reduced, and it also turned out that degradation of an equipment life is moreover promoted.

[0011] Then, the object of this invention cancels the fault of the above mentioned conventional technique, and is to offer the low-temperature dry etching approach which can realize the property altogether satisfied about both the perpendicularity of an etched material front face thru/or the oxide film side face on a substrate, the dry area of a film side face a sub trench and an etching rate and also a selection ratio, and its equipment.

[0012]

[Means for Solving the Problem] First, the 1st invention conveys the etched material inserted in a spare room to a reaction chamber through an airtight bulb. In case a substrate is maintained at low temperature 0 degree C or less in a reaction chamber and low-temperature dry etching of the etched material front face is carried out using fluorine system gas It is the low-temperature dry etching approach characterized by making an inert gas flow rate superimpose on a fluorine system quantity of gas flow more than twice, keeping the degree of vacuum in a sink and a reaction chamber at 2.66Pa or less in a reaction chamber, and making it etch.

[0013] The 2nd invention is the low-temperature dry etching approach characterized by for etched material being a substrate with an oxide film, and the etched material front face by which low-temperature dry etching is carried out being the oxide film of a substrate with an oxide film in the 1st invention.

[0014] The 3rd invention is the low-temperature dry etching approach characterized by keeping the temperature of a substrate at -20 degrees C or less, and passing 60 or more cc/min of total flow of a fluorine system quantity of gas flow and an inert gas flow rate in the 2nd invention.

[0015] It sets to the 2nd and 3rd invention, and the 4th invention is SiO<sub>2</sub> or SiO<sub>2</sub> as an oxide film.

DOPANDO, such as P, Ti, germanium, B, Ta, Er, Pr, Nd, Zn, Sn, and N, is the low-temperature dry etching approaches characterized by using what added at least one sort. In addition, although the above-mentioned thing is desirable as an oxide film, they are SiON and SiO<sub>x</sub> N<sub>y</sub> H<sub>z</sub> in addition to this.

[0016] It sets to the 4th invention and the 5th invention is CHF<sub>3</sub> as fluorine system gas. It is the low-temperature dry etching approach characterized by using.

[0017] It sets to the 5th invention and the 6th invention is CHF<sub>3</sub>. A quantity of gas flow is made into 30 or more cc/min, and it is an inert gas flow rate and CHF<sub>3</sub>. It is the low-temperature dry etching approach characterized by making temperature of more than 450W and a substrate into -20 degrees C or less for RF PAWA which a 60 or more cc/min sink is generated for the total amount of a quantity of gas flow, and generates 2.66Pa or less and the plasma for a degree of vacuum.

[0018] The 7th invention is the low-temperature dry etching approach characterized by inert gas being Ar gas in the 1st to 6th invention.

[0019] The 8th invention can supply the spare room which performs insertion/drawing of a substrate with an oxide film, and the gas and inert gas of a fluorine system. The gas supply system for etching which an inert gas flow rate is made to superimpose on a fluorine system quantity of gas flow more than twice, and can supply it to it at least, At least one reaction chamber in which the exhaust air system which can carry out evacuation of the interior of a room to 2.66Pa or less was prepared, While is prepared the gate valve which connects a spare room and a reaction chamber, and in a reaction chamber. A substrate with an oxide film on an electrode The electrode of \*\* or \*\*\*\*\*, A means to impress RF PAVA beyond 300W to inter-electrode [ of this couple ], and a means to hold the substrate in at least one reaction chamber at 0 degree C or less, It is the low-temperature dry etching system which can be equipped with a means to perform migration of the substrate between insertion and drawing of the above-mentioned substrate, and a spare room and at least one reaction chamber through a gate valve to a spare room, and can etch the oxide film of a substrate at least.

[0020] The 9th invention is a low-temperature dry etching system characterized by considering as the reaction chamber which etches the metal film on the top face of an oxide film, using a photoresist mask \*\*\*\*\* [ except the reaction chamber which etches an oxide film for at least one of the reaction chambers remaining ] in the 8th invention.

[0021] The 10th invention is a low-temperature dry etching system characterized by supplying helium gas to the rear face of the above-mentioned substrate with an oxide film placed in the state of the hermetic seal on one electrode from the outside of a reaction chamber using a thing with the rear face flat as a substrate with an oxide film, and holding a substrate rear face in helium gas ambient atmosphere in the 8th and 9th invention.

[0022] The 11th invention is a low-temperature dry etching system characterized by enabling it to realize the degree of vacuum of 2.66Pa or less which made larger than the area of a substrate with an oxide film aperture area of the exhaust air system prepared in the reaction chamber, and mentioned it above in the 8th thru/or the 10th invention.

[0023]

[Function] The 1st invention thru/or invention of the 2nd is the approach of increasing the total flow rate of the gas for etching not to mention fluorine system gas by making an inert gas flow rate superimpose on a fluorine system quantity of gas flow more than twice, and passing. In the evaluation criteria of etching, the result which conflicts by perpendicularity, the smooth nature of a side face, and a sub trench and an etching rate produces a fluorine system quantity of gas flow.

[0024] That is, although buildup of fluorine system gas degrades perpendicularity and the smooth nature of a side face, a sub trench and an etching rate improve. Then, coexistence with perpendicularity, the smooth nature of a side face, and a sub trench and an etching rate is in drawing in this way by fluorine system gas and the increase of a total flow rate, or carrying out.

[0025] However, if a total flow rate is increased, a degree of vacuum will fall. So, in this invention, a degree of vacuum is set to 2.66Pa or less using the possible pump of a high speed and high vacuum exhaust air. Consequently, the perpendicularity of the etched substrate front face thru/or an oxide-film side face and the dry area of a side face can be kept good. Especially this brings about a very good result, when processing the core pattern of waveguide which consists of an oxide film formed on the substrate in the shape of a cross-section abbreviation rectangle by dry etching.

[0026] For example, if the perpendicularity of a core side face is confused when realizing a waveguide type light device with wavelength optional features, such as an optical separator, an optical multiplexing machine, an optical filter, and an optical directional coupler, the wavelength properties (for example, main wavelength, degree of separation between two wavelength, etc.) of the above-mentioned optical device will change. Moreover, the dry area of a core side face also causes buildup of optical transmission loss not to mention change of the above-mentioned wavelength property. Therefore, perpendicularity is good for 90 degrees in a side face, and it becomes very important to lessen the dry area of a side face.

[0027] On the other hand, since the flow rate of fluorine system gas is made [ many ] in this invention, while a sub trench stops almost generating, an etching rate also improves. Although the configuration of

this sub trench is mentioned later, generating of this also degrades the wavelength property of an optical device, and buildup of loss also causes it. Furthermore, since a light of waveguide in core closes, eye \*\* becomes an ununiformity and a polarization dependency is produced, when realizing an optical device with the above-mentioned wavelength optional feature, it had become a serious failure conventionally. However, according to this invention, very big effectiveness is acquired from this being improvable. [0028] In addition, as mentioned above, perpendicularity and the smooth nature of a side face are degraded, but since buildup of fluorine system gas is superimposing and passing inert gas more than twice in fluorine system gas in this invention, it can prevent degradation of perpendicularity and the smooth nature of a side face.

[0029] Moreover, although buildup of fluorine system gas had the problem that the etch selectivity to an oxide film became small, and the amount of loss of weight of core pattern width of face became large, it can raise a selection ratio substantially by making inert gas superimpose on fluorine system gas.

[0030] According to the 3rd invention, the more substrate temperature becomes low, it becomes easy to attach the resultant to the etched front face, and, the more a sub trench is generated. Then, 60 or more cc/min of total flow rates of a fluorine system quantity of gas flow and an inert gas flow rate is passed, and generating of a sub trench is oppressed.

[0031] In addition, like this invention, it is very effective in the damage loss of the above-mentioned component to keep the substrate temperature under etching at -20 degrees C or less, and to etch it, when etching the substrate in the condition of having formed the electronic-circuitry component or the optical circuit element in the inside of waveguide, or a top face beforehand. Because, the thickness of the core of waveguide is usually 3 micrometers. It is several 10 micrometers above. Since it is dramatically thick, dry etching time amount is also crossed to the long duration of 1 hours or more. Change and OH of refractive-index distribution by migration of the dopant for refractive-index control in about [ giving a damage to the above-mentioned component ], a core, or a buffer layer when such long duration and a substrate are exposed to the elevated-temperature condition (it will usually be in a hundreds of degrees C elevated-temperature condition when not cooling.) - It is because migration is brought about and degradation of an optical property is produced.

[0032] Like the 4th invention, it is SiO<sub>2</sub> as an oxide film to etch. Not to mention, SiO<sub>2</sub> If the dopants objects for refractive-index control, such as P, Ti, germanium, B, Ta, Zn, Sn, Zr, Er, Pr, Nd, and N, the object for coefficient-of-thermal-expansion control, for functional addition, etc. apply to what was added at least one sort, this can be etched easily. And since it is a low-temperature process as mentioned above, diffusion of a dopant etc. does not arise at all but can prevent degradation of a desired optical property beforehand in the process of a process. This is very effective when realizing highly precise waveguide.

[0033] Moreover, since it is not put to an elevated temperature during etching as mask material which etches the above-mentioned oxide film even if it uses the metal film (for example, metal membranes, such as WSi, W, Ta, Ti, aluminum, nickel, and Cr), the resist film, etc., the above-mentioned metal film or the resist film does not deteriorate, and it can etch into stability. Consequently, what has the very few amount of loss of weight of core pattern width of face can be realized, and an optical device with a desired optical property can be created as a design.

[0034] as the gas which etches the above-mentioned oxide film according to the 5th invention -- CHF<sub>3</sub> although gas is desirable -- other than this -- alike -- C two F<sub>6</sub>, C three F<sub>8</sub>, C four F<sub>8</sub>, and CF<sub>4</sub> etc. -- fluorine system gas or the gas which mixed at least one sort of above-mentioned gas, and the thing which added C two H<sub>4</sub> etc. further may be used.

[0035] CHF<sub>3</sub> which is a process parameter according to the 6th invention A quantity of gas flow is made into 30 or more cc/min, and it is an inert gas flow rate and CHF<sub>3</sub>. Since RF PAWA which a 60 or more cc/min sink is generated for the total amount of a quantity of gas flow, and generates 2.66Pa or less and the plasma for a degree of vacuum was specified to the optimal value of -20 degrees C or less for the temperature of more than 450W and a substrate, all the etching evaluation criteria can be satisfied much more good.

[0036] According to the 7th invention, since inert gas was made into Ar gas, it can be further satisfied with stability of all the etching evaluation criteria. especially, in respect of the amount of loss of weight

of a core pattern, it explains in full detail in the example -- as -- helium and N<sub>2</sub> etc. -- since the direction which uses Ar gas can enlarge a selection ratio more as compared with inert gas, it is effective in that there are few amounts of loss of weight.

[0037] According to the 8th invention, the gas supply system which the quantity of gas flow of a fluorine system is made to superimpose an inert gas flow rate on a reaction chamber more than twice, and can supply it to it at it, and the exhaust air system which can carry out evacuation of the interior of a room to 2.66Pa or less are given. Moreover, in order to raise an etching rate, RF PWA beyond 300W is made to impress to inter-electrode [ in a reaction chamber ], and it is made to make the substrate in a reaction chamber have held at 0 degree C or less. And since a spare room and a reaction chamber are connected with an airtight gate valve and between these \*\* is automatically conveyed while being made to perform insertion and drawing through a spare room, etching with which were satisfied of many properties of all, such as loss of weight of perpendicularity, the smooth nature of a side face, a subtrench, and core width of face and an etching rate, can be performed.

[0038] since according to the 9th invention an oxide film can be etch continuously , and both \*\* be connect through the gate valve and it be necessary to take out a substrate in atmospheric air after etching the metal film on the top face of an oxide film by making at least one of the reaction chambers remaining into the reaction chamber which etch the metal film on the top face of an oxide film , the defect of the pattern by adhesion of a contaminant , an impurity , etc. can be prevent . Moreover, since it does not come out into atmospheric air, OH in atmospheric air- (hydroxyl-group ion) can adhere to an oxide film, or it is not spread in an oxide film and low loss waveguide can be manufactured.

[0039] Without leaking in a reaction chamber, helium gas can hold a substrate rear face in helium ambient atmosphere, and can make a substrate hold at low temperature efficiently like the 10th invention, if the hermetic seal of between the rear face of a substrate with an oxide film and electrodes is carried out and the rear face of a substrate is held in helium gas ambient atmosphere while using a thing with the rear face flat as a substrate with an oxide film.

[0040] Like the 11th invention, if aperture area of the exhaust air system of a reaction chamber is made larger than the area of a substrate with an oxide film, the degree of vacuum of 2.66Pa or less will be obtained at high speed and certainly.

[0041]

[Example] The 1st example of the low-temperature dry etching system by reactive ion etching of this invention is shown in drawing 1 . Here, the waveguide sample 10 (refer to drawing 2 (a)) behind explained in full detail as etched material was used.

[0042] Before conveying this equipment to two reaction chambers 1-1 which perform dry etching, 1-2, the exhaust air system 3-1 which carries out evacuation of the inside of each reaction chamber, respectively and 3-2, and each reaction chamber, the spare room 2 which makes a vacua is formed. Furthermore, it is etching gas CHF<sub>3</sub> into the exhaust air system 4 which carries out evacuation of the inside of the spare room 2, the cable bulb 11-1 which connects one reaction chamber 1-1 and spare room 2, the gate valve 11-2 which connects the reaction chamber 1-2 and spare room 2 of another side, the gas supply system 14 which supplies etching gas (NF<sub>3</sub>, CF<sub>4</sub>, etc.) into one reaction chamber 1-1, and the reaction chamber 1-2 of another side. CHF<sub>3</sub> to supply The gas supply system 7 is established.

[0043] Moreover, in a reaction chamber 1-2, it is the above-mentioned etching gas CHF<sub>3</sub>. The Ar gas supply system 21 for making twice [ more than ] as many Ar quantity of gas flow as this superimpose on a flow rate, and introducing in a reaction chamber 1-2 is established. The perpendicularity of installation of this Ar gas is good in an oxide film, and it is very effective in reducing reduction (loss of weight) of the oxide film (core) pattern width of face after etching while there are few side-face dry areas and they suppress generating of a subtrench further. in addition, instead of [ of Ar gas ] -- helium and N<sub>2</sub> etc. -- the same effectiveness is expectable even if it uses inert gas.

[0044] furthermore, to the equipment of drawing 1 Between the up electrode 13-1 installed in one reaction chamber 1-1, and the lower electrode 13-2 which carries a sample 10 Between RF generator 6-1 to impress, the up electrode 5-1 installed in the reaction chamber 1-2 of another side, and the lower electrode 5-2 which carries a sample 10 In order to cool RF generator 6-2 to impress, each reaction



chamber 1-1, the lower electrode 13-2 in 1-2, and the sample 10 on 5-2 at low temperature, it has the refrigerant circulatory system 9 which pours a refrigerant in the direction shown by 9-2 from the arrow head 9-1. Each reaction chamber of this example constitutes the parallel plate reactive ion etching system so that the example of a graphic display may show. Among these, low-temperature dry etching is performed by the reaction chamber 1-1 in which the refrigerant circulatory system 9 was formed, and 1-2.

[0045] Moreover, the hole 13-21 which inserts a sample 10 in the lower electrode 13-1 which carries each reaction chamber 1-1 and the sample 10 in 1-2, and the center section of 5-2, and 5-21 are prepared, respectively, and it can be made to carry out with the O ring the hermetic seal of between the rear face of a sample 10, the lower electrode 13-1, or 5-2. The helium gas supply system 8 which leads to this hermetic seal section is formed in the lower electrode 13-1 and 5-2, helium gas is sprayed on the rear face of a sample 10, and low temperature-ization of a sample 10 can be promoted now.

[0046] Furthermore, a sample 10 is inserted into a spare room 2, and in order to prevent the sample insertion / sample drawing system 12 which takes out a sample from a spare room 2, and dew condensation, it has the gas supply system 15 for introducing gas (N<sub>2</sub>, Ar, O<sub>2</sub>, O, helium, etc.) into a spare room 2, and the migration system which transports a sample 10 for between a spare room 2, two reaction chambers 1-1, and 1-2 although not illustrated further. A conveyance means consists of this migration system, and above-mentioned above-mentioned sample insertion / sample drawing system 12. Next, the approach of carrying out dry etching using this low-temperature dry etching system is checked with drawing 2, and is explained.

[0047] First, drawing 2 (a) explains the sample inserted from sample insertion / sample drawing system 12 of a spare room 2. A sample is SiO<sub>2</sub> with a thickness [ of 1mm ], and a diameter of 3 inches. The substrate was used. The rear face of this substrate is processed evenly. SiO<sub>2</sub> instead of [ of a substrate ] - the glass of semi-conductors, such as Si, InP, and GaAs, a quartz system, and a multicomponent system, LiNbO<sub>3</sub>, and LiTaO<sub>3</sub> etc. -- a dielectric, the magnetic substance, etc. may be used. A buffer layer 20, a core layer 19, and the WSi film 18 are formed in order on the substrate 16, and, as for this sample, patterning of the photoresist pattern 17 is carried out on the WSi film 18.

[0048] a buffer layer 20 -- SiO<sub>2</sub> from -- becoming -- about 10 micrometers in thickness it is . An oxide film is used for a core layer 19. for example, SiO<sub>2</sub> TiO<sub>2</sub>, GeO<sub>2</sub>, and P<sub>2</sub> O<sub>5</sub> etc. -- the film which added the additive for refractive-index control about ten% of the weight from 0.several % of the weight or SiON, and SiO<sub>x</sub> Ny Hz etc. -- it is . At this example, it is SiO<sub>2</sub>. TiO<sub>2</sub> The film (about 8 micrometers of thickness) added 1% of the weight was used. The WSi film 18 is about 1 micrometer in thickness since it becomes the mask material for etching a core layer 19. It is formed. The photoresist pattern 17 is the mask material for patternizing the WSi film 18 by dry etching, and the thickness is 0.5-1 micrometer from the relation of a selection ratio. It is chosen.

[0049] Now, a dew-point in a spare room 2 from an arrow head after inserting into the spare room 2 which shows the sample 10 of this drawing 2 (a) to drawing 1 - N<sub>2</sub> [ 60 degrees C or less ] Gas (or the gas of Ar, helium, O<sub>2</sub>, etc. may be used.) is carried out by (quantity-of-gas-flow 100 cc/min), evacuation of the inside of a spare room 2 is carried out by the exhaust air system 4 with a sink, and it is made to dry. [ of a gas supply system 15 ] Evacuation also of two reaction chambers 1-1 in all and 1-2 is carried out to this by the exhaust air system 3-1 and 3-2. After keeping the degree of vacuum in a spare room 2 and a reaction chamber 1-1, and 1-2 at  $1.33 \times 10^{-1}$  or less Pa, the gate valve 11-1 connected with one reaction chamber 1-1 is opened, a sample 10 is conveyed from a spare room 2 to a reaction chamber 1-1, and it lays on the lower electrode 13-2. And a substrate is cooled at -40 degrees C according to the refrigerant circulatory system 9 and the helium gas supply system 8. Next, it is an arrow head to [ closing and / of a gas supply system 14 ] NF<sub>3</sub> about a gate valve 11-1. RF generator 6-1 (RF PAWA 20W) was impressed for gas between 20 cc/min sink, the up electrode 13-1, and the lower electrode 13-2, and the plasma was generated between [ 13-1 ] two electrodes and among 13-2. The degree of vacuum in the reaction chamber 1-1 at this time set up the exhaust air system 3-1 so that it might be set to 1.33Pa. Consequently, etching of the WSi film 18 was ended in about 6 minutes. The sample of this condition is shown in drawing 2 (b). The width of face of the etched WSi pattern had only only 1% of

width-of-face decrease to photoresist pattern width of face. This is considered because there were almost no breakage and etching of a photoresist for low-temperature etching. Moreover, the etched WSi side face was also very smooth.

[0050] Next, it is NF<sub>3</sub> about the etching gas supplied from a gas supply system 14. Gas to CF<sub>4</sub> It was made gas at a switch and this appearance, and etched under the plasma ambient atmosphere, and the film of a surface photoresist pattern was removed ( drawing 2 (c)).

[0051] Then, a gas supply system 14 is closed and it is CF<sub>4</sub>. The stop was opened for supply of gas, after off and a gate valve 11-1 were opened for RF generator 6-1, and the sample 10 was returned by the migration system in the spare room 2. And it is N<sub>2</sub> in a spare room 2 again. High vacuum exhaust air was performed carrying out the 100 cc/min style of the gas.

[0052] Next, the sink and the lower electrode 5-2 also controlled the circulatory system 9 to the refrigerant at low temperature like 9-2 from the arrow head 9-1 in the lower electrode 5-2 in the reaction chamber 1-2 of another side (in this example - 40 degrees C). And it had the high-speed turbo molecular pump, and the sample 10 was conveyed in the reaction chamber 1-2 where the high vacuum exhaust air ( $1.33 \times 10^{-2}$  or less Pa) of the aperture area was carried out by the larger exhaust air system 3-2 than the area of a substrate.

[0053] That is, a sample is conveyed for the gate valve 11-2 connected with the reaction chamber 1-2 of another side from an aperture and a spare room 2 on the lower electrode 5-2 of a reaction chamber 1-2. After carrying a sample 10 on the lower electrode 5-2, helium gas was made into 5 cc/min \*\*\*\*\* from the arrow head, the sample 10 was made into helium ambient atmosphere by helium gas to the rear face of a sample 10, and -40-degree C low temperature-ization was promoted. This helium gas has clamped the sample 10 on the lower electrode 5-2 so that there may be no leakage appearance in a reaction chamber 1-2. That is, it is constituted so that the fixed gas pressure of helium may join the rear face of a sample 10.

[0054] Thus, it is an arrow head to [ of a gas supply system 7 ] CHF<sub>3</sub>, maintaining and carrying out evacuation of the sample 10 to desired low temperature (-40 degrees C). RF generator 6-2 was impressed for gas between the sink, the up electrode 5-1, and the lower electrode 5-2, the plasma was generated, and low-temperature dry etching of a core layer 19 was performed. This condition is shown in drawing 2 (d).

[0055] The gas supply systems 7 and 21 after etching ending in a reaction chamber 1-2 are closed, and it is CHF<sub>3</sub>. Gas and Ar gas are made as a stop, RF generator 6-2 is made off, a gate valve 11-2 is opened, and it is N<sub>2</sub> about a sample 10. It transported into the spare room 2 by which evacuation is carried out, the 100 cc/min style of the gas being carried out. after migration -- again -- the gate valve 11-1 connected with a reaction chamber 1-1 was laid in the aperture, and while laid the sample 10 from the spare room 2 on the lower electrode 13-2 of a reaction chamber 1-1. And an arrow head to [ of a gas supply system 14 ] NF<sub>3</sub> The WSi film 18 on the core pattern 19 was removed by dry etching, maintaining gas at the degree of vacuum of 1.33Pa impressing RF PAWA (20W) between a sink, the up electrode 13-1, and the lower electrode 13-2, and the structure of drawing 2 (e) was acquired.

[0056] Then, a gas supply system 14 is closed and it is NF<sub>3</sub>. The stop and RF generator 6-1 were turned off for gas, the gate valve 11-1 was opened, and the sample 10 was conveyed into the spare room 2. Next, it is N<sub>2</sub> for a while. It is the evacuation in the spare room 2 after carrying out evacuation, passing gas A stop and N<sub>2</sub> Gas is introduced succeedingly and it is the inside of a spare room 2 N<sub>2</sub> You made it filled with gas, the vacuum in a spare room 2 was canceled, and the sample 10 was taken out into atmospheric air.

[0057] Below, the various examples of an experiment according to the process mentioned above are shown. The example of a comparison by the conventional approach was included in this example of an experiment besides the example by this invention approach.

[0058] (Example 1 of a comparison) It is CHF<sub>3</sub>, keeping a degree of vacuum at 1.33Pa, and using RF PAWA (RF PAWA) as 300W. Etching was performed for gas for 90 minutes with 10 cc/min sink. Consequently, the perpendicularity of the etched core side face was good as shown in drawing 3 (a). Moreover, the side-face dry area was also good like drawing 4 R> 4 (a). However, the etching rate was

as low as 400A / min (following, A/min), and as shown in drawing 5 , the resultant 24 adhered to the core side face 22, and, thereby, the sub trench 23 generated it. This sub trench 23 degrades a wavelength property and a polarization property while increasing the scattering loss by the heterogeneity of the structure of waveguide, as mentioned above. Furthermore, the amount of loss of weight of core width of face was compared with WSi width of face, it was about 10% of value, and this was also a problem.

[0059] In addition, the core side face shown in drawing 3 (b) is CHF<sub>3</sub>. The case where there is less gas than 10 cc/min is shown.

[0060] (Example 2 of a comparison) It is CHF<sub>3</sub>, keeping a degree of vacuum at 1.33Pa, and using RF PAWA as 300W. Etching was performed for gas for 90 minutes with 40 cc/min sink. Consequently, the perpendicularity of the etched core side face became DEPA-like like drawing 3 (c). That is, perpendicularity deteriorated. Moreover, the dry area was produced as the side face was also shown in drawing 4 (b). Conversely, the etching rate increased with 500 A/min, and a sub trench 23 like drawing 5 of it was also almost lost. Furthermore, the amount of loss of weight of core width of face got worse than the 1st experiment.

[0061] (Example 3 of a comparison) The degree of vacuum was kept at 2.66Pa, and the rest etched by making it the same conditions as the example 1 of a comparison. Consequently, each dry area of perpendicularity and a side face deteriorated, and the sub trench also generated it. Instead, the etching rate increased by about 1.2 times. Also in this case, the amount of loss of weight of core width of face got worse than the 1st experiment.

[0062] (Example 4 of a comparison) The temperature of a sample was changed into 0 degree C from -40 degrees C, and the remaining conditions etched by being the same as the conditions of the example 1 of a comparison. Consequently, although each dry area of perpendicularity and a side face deteriorated, the sub trench was reduced and the etching rate also increased. Also in this case, the amount of loss of weight of core width of face became still larger.

[0063] As mentioned above, the conditions with which are satisfied of all the precision of perpendicularity, the dry area of a side face, a sub trench, an etching rate, and core width of face were not able to be acquired. Then, it is Ar gas of this invention CHF<sub>3</sub> How to make it superimposing on gas was examined.

[0064] (Example 5 of a comparison) As a result of carrying out 10 cc/min superposition of the Ar quantity of gas flow and carrying out etching of a sink and the core film to the conditions of the example 1 of a comparison, the core side face was etched into about 90 degrees, and there were few dry areas of the side face. However, the sub trench is generated as usual. Furthermore, there was also no improvement in an etching rate. Next, although Ar quantity of gas flow was increased and seen to 15 cc/min, change was seldom seen. However, the amount of loss of weight of core width of face is compared with WSi width of face, and it is 3% or less, and checked that the amount of loss of weight of core width of face decreased substantially by making Ar gas superimpose.

[0065] (Example 1) The 125 cc/min superposition of the Ar quantity of gas flow was carried out, and etching of a sink and the core film was carried out to the conditions of the example 2 of a comparison. Consequently, perpendicularity and the smooth nature of a side face are very good, and a sub trench hardly generated them, either. The big value also with an etching rate almost more equivalent still to the example 2 of a comparison could be acquired, the amount of loss of weight of core width of face was also able to become the example of comparison 5 average, and the result with which are satisfied of all the original targets was able to be obtained. Moreover, as a result of reducing Ar quantity of gas flow little by little from this condition and conducting the same experiment, it turned out that Ar quantity of gas flow is effective from 80 or more cc/min.

[0066] (Example 2) It sets on the conditions of an example 1 and is CHF<sub>3</sub>. The quantity of gas flow was changed into 30 cc/min from 40 cc/min, and the degree of vacuum was also changed into 1.995Pa from 1.33Pa, and etching for about 90 minutes was performed. Consequently, both perpendicularity and the smooth nature of a side face are good, and a sub trench hardly generated them, either. The amount of loss of weight of an etching rate and core width of face hardly changed, either. Moreover, it turned out that, as for Ar quantity of gas flow, effective effectiveness shows up from 60 or more cc/min also in this case.

[0067] (Example 3) In the conditions of an example 2, as a result of changing high frequency PAWA into 450W from 300W and performing etching for 90 minutes similarly, the etching rate improved to about 1000 Å/min. Moreover, the amount of loss of perpendicularity, the smooth nature of a side face, a sub trench, and core width of face was all good.

[0068] These were shown in a table 1. When the result of a table 1 was arranged collectively, it turned out that the relation between a process parameter and evaluation criteria becomes as it is shown in a table 2. In addition, the selection ratios  $(= (\text{etching rate of oxide film}) / (\text{etching rate of WSi}))$  of WSi and an oxide film were 15 or more values, and were sufficient values to etch the core film for waveguides.

[0069]

[A table 1]

	比 較 例					実 施 例		
	1	2	3	4	5	1	2	3
真 空 度 Pa	1.33	1.33	2.66	1.33	1.33	1.33	1.995	1.995
R F パワ W	300	300	300	300	300	300	300	450
CHF <sub>3</sub> 流 量 scc/min	10	40	10	10	10	40	30	30
温 度 °C	-40	-40	-40	0	-40	-40	-40	-40
A r cc/min	—	—	—	—	10~15	80~125	60~125	60~125
垂 直 性	○	×	×	×	○	○	○	○
側 面 荒 れ	○	×	×	×	○	○	○	○
サブトレッチ	×	○	×	○	×	○	○	○
エッチングレート	×	○	○	○	×	○	○	○
パターン幅減り	×	×	×	×	○	○	○	○
ダメージレス化	○	○	○	×	○	○	○	○

[0070]

[A table 2]

プロセスパラメータ	CHF <sub>3</sub> 流量		Ar/CHF <sub>3</sub> 流量		真 空 度		R F パワ		温 度	
評価項目	大	小	大	小	高	低	大	小	高	低
垂 直 性	×	○	○	×	○	×			×	○
側 面 の 荒 れ	×	○	○	×	○	×			×	○
サブトレンチ	○	×	○	×	○	×				
エッチングレート	○	×	○	×			○	×	○	×
パターン幅の減り	×	○	○	×	○	×			×	○
光素子、電子回路素子のダメージ低減化									×	○
総 合 評 価	中 ≥ 30 cc/min		大 ≥ 2 (トータル流量 ≥ 60 cc/min)		高 ≤ 2.66Pa		大 ≥ 450W		低 ≤ -20℃	

○印：良好、×印：悪い

[0071] Namely, CHF<sub>3</sub> Since the result which conflicts between perpendicularity, the smooth nature of a side face, and a sub trench and an etching rate arises, a quantity of gas flow takes the middle value, and considers as ≥30 cc/min, and only the part is Ar quantity of gas flow CHF<sub>3</sub> By passing 60 or more cc/min, a total amount suppresses degradation of perpendicularity and the smooth nature of a side face more than by twice.

[0072] Since the high vacuum was desirable as much as possible, the degree of vacuum was set to ≤2.66Pa. In order that high frequency PAVA might not influence directly perpendicularity, the dry area of a side face, and a sub trench but might contribute to an etching rate, since the higher possible one was desirable, it was set to ≥450W. Also in order to make small loss of weight of the core pattern width of face which improved perpendicularity and smooth nature of a side face and was etched in order not to give a damage to the light corpuscle child or electronic-circuitry component which are formed into a waveguide on the street or, low temperature (≤-20 degree C) of temperature is as much as possible desirable. In addition, it sets to drawing 2 and is SiH<sub>4</sub>. It is N<sub>2</sub> as N<sub>2</sub> O. SiO<sub>x</sub> Ny Hz formed by the plasma-CVD method as a core layer 19 using gas Although the film was etched similarly, the property almost equivalent to the above-mentioned result was able to be acquired.

[0073] In addition, in order to superimpose Ar quantity of gas flow on fluorine system gas more than twice and to carry out the high-speed exhaust air of a sink and the reaction chamber like this invention at 2.66Pa or less, in the exhaust air system 3-2, the exhaust speed exhausted using the turbo molecular pump or rotary pump of 500 or more l/sec. Moreover, the diameter exhaust pipe of macrostomia whose diameter is 6 inches was used for the exhaust pipe of the exhaust air system 3-2. That is, it becomes an indispensable condition to exhaust using the exhaust pipe which has the aperture of a large area rather than the area (the diameter of 2 inches - diameter of 5 inches) of the substrate to etch. This is also one of the descriptions of the low-temperature dry etching system of this example.

[0074] Next, the prototype result of the optical multiplexer/demultiplexer of the waveguide configuration made as an experiment using the above-mentioned low-temperature dry etching system is explained.

[0075] Drawing 6 (a) and (b) are what showed the schematic diagram of a waveguide mold optical multiplexer/demultiplexer, (a) shows a whole top view and (b) shows the a-a' sectional view of (a), respectively. Wavelength λ<sub>1</sub> which carried out incidence to the input edge of an optical

multiplexer/demultiplexer like the arrow head 26 as first shown in (a) And  $\lambda_2$  A lightwave signal spreads the inside of a core 25-1. It reaches in the joint field 29, and it spreads, interfering in between a core 25-1 and a core 25-2, and is wavelength  $\lambda_1$  like an arrow head 27-1 and 27-2 from the outgoing end of an optical multiplexer/demultiplexer. And  $\lambda_2$  It is separated spectrally, respectively and a lightwave signal is outputted.

[0076] In this configuration, in order to separate spectrally by low loss and to improve wavelength degree of separation, as mentioned above, the perpendicularity of each core 25-1 and the side face of 25-2 is good, the dry area of a side face is small, and a subtrench is also small, and each core 25-1 and width-of-face decrease of 25-2 must be suppressed small. a core 25-1, the width of face of 25-2, and thickness  $W \sim 8$  micrometers the spacing  $S$  of a core 25-1 and 25-2  $\sim 5.5$  micrometers  $\sim$  it carried out and the spectral separation property of the optical multiplexer/demultiplexer which made the relative index difference of a core 25-1 (25-2) and a clad 28 as an experiment as 0.25% was evaluated. The continuous line (optical multiplexer/demultiplexer created by the approach of this example) and dotted line (optical multiplexer/demultiplexer created by the approach of the example of a comparison) of drawing 7 show the result. However, at a design value, it is  $\lambda_1 = 1.3$  micrometer.  $\lambda_2 = 1.55$  micrometer It carried out.

[0077] The gap (about 0.12 micrometers) of remarkable main wavelength produced the thing of the approach of the example of a comparison to the thing of the approach of this example almost not having a gap of each main wavelength which should be separated spectrally. Moreover, the thing of the propagation loss of the approach of this example was small. This is also dependent on sharp reduction of the dry area of a side face, and a subtrench. Furthermore, wavelength  $\lambda_1$   $\lambda_2$  It turned out to the thing of the approach of this example having about twentydB or more also of isolations of a between that, as for the thing of the approach of the example of a comparison, only an about 20dB isolation is obtained with a grinding sound. As mentioned above, it turned out that a result with the approach of this example good also to the optical property of waveguide is obtained.

[0078] Drawing 8 shows the 2nd example which simplified the low-temperature dry etching system of this invention. In the equipment of drawing 1, this omits a reaction chamber 1-1, is the low-temperature dry etching system of a configuration of having connected only one possible reaction chamber of low-temperature dry etching with the spare room 2, and performs the low-temperature dry etching process of drawing 2 R> 2 (d).

[0079] In addition, this invention is not limited to the above-mentioned example. First, three rooms and four more rooms or more are sufficient as a reaction chamber. That is, the film which should etch a reaction chamber one piece or by preparing two or more pieces can be used as the bipolar membrane of one layer membrane, the two-layer film, the metal that consists of a multilayer further, an oxide, or a metal and an oxide etc. 3 layer membrane. These reaction chambers are constituted so that each may be connected through a common spare room.

[0080] Moreover, although the case where Ar gas was made to superimpose was described in the above-mentioned examples 1-3 It replaces with Ar gas and is helium or N<sub>2</sub>. Perpendicularity of the core at the time of using gas, The smooth nature of a side face, the subtrench, and the etching rate are almost equivalent to the case where Ar gas is used. Moreover, helium or N<sub>2</sub> The selection ratio at the time of using gas compares the amount of loss of weight of 10 or more and core width of face with WSi width of face, and is 5% or less, and it is checking that the object of this invention can fully be attained.

[0081] Furthermore, a dry etching system may not be limited to a parallel plate mold reactive ion etching system, and may be other dry etching systems. Moreover, although while etches the WSi film etc. and it was made to perform low-temperature dry etching in the above-mentioned example even in the reaction chamber 1-1, cooling by the refrigerant circulatory system 9 and the helium gas supply system 8 in the lower electrode 13-2 in a reaction chamber 1-1 is omitted, and it may be made to perform the usual dry etching. Moreover, a sample is not limited to the above-mentioned example, either, but the etched material for semiconductor ICs etc. can be used.

[0082]

[Effect of the Invention]

(1) According to invention according to claim 1, the perpendicularity of the side face of the etched material front face is kept at about 90 degrees, and most of the dry area and subtrench of the side face is not produced, and an etching rate can also be further etched in the condition large enough. Moreover, it is CHF<sub>3</sub> to superimpose and pass inert gas. Since the operation which fully dilutes harmful gas like gas works, the harm to the body can be reduced. Moreover, it is effective in reducing substantially adhesion of the resultant to the inside of a reaction chamber or an exhaust air system, and the repeatability of low-temperature dry etching can be raised, and degradation of an equipment life can also be prevented. Furthermore, the amount of width-of-face decreases of the etched oxide film can be small stopped by having made inert gas superimpose.

[0083] (2) When the light corpuscle child and the electronic-circuitry component are formed [ according to invention according to claim 2 ] on the substrate to etch or into the substrate in addition to the effectiveness of claim 1, it can etch, without also giving these a damage. This becomes possible [ realizing easily desired optical properties (a loss property, a wavelength property, polarization property, etc.) ], when forming a pattern like waveguide by etching.

[0084] (3) According to invention according to claim 3, since the resultant to a front face stops being able to adhere easily, generating of a subtrench can be oppressed.

[0085] (4) According to invention according to claim 4, without producing diffusion of a dopant etc., it can etch easily and degradation of an optical property can be prevented beforehand.

(5) Since the gas for etching suitable for an oxide film was used according to invention according to claim 5, it can etch good.

[0086] (6) According to invention according to claim 6, since each process parameter for etching was specified to the optimal value, many etching properties of all can be satisfied much more good.

[0087] (7) According to invention according to claim 7, since inert gas was made into Ar gas, it can etch into stability more. in addition, the point of the amount reduction of width-of-face decreases of the etched oxide film -- helium and N<sub>2</sub> etc. -- the outstanding effectiveness is done so as compared with the case where inert gas is used.

[0088] (8) Since according to invention according to claim 8 equipment was constituted so that each good process parameter might be obtained, etching which many etching properties satisfied altogether can be performed.

[0089] (9) According to invention according to claim 9, after etching of the metal film, since an oxide film can be etched continuously, working efficiency is good and, moreover, can prevent adhesion or mixing of a contaminant, an unnecessary impurity, etc. effectively.

[0090] (10) According to invention according to claim 10, a substrate can be efficiently held at low temperature, without leaking helium gas in a reaction chamber.

[0091] (11) According to invention according to claim 11, whenever [ desired high vacuum ] is obtained at high speed and certainly.

---

[Translation done.]

\* NOTICES \*

JPO and NCIPi are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

1. This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
2. \*\*\*\* shows the word which can not be translated.
3. In the drawings, any words are not translated.

---

DESCRIPTION OF DRAWINGS

---

[Brief Description of the Drawings]

[Drawing 1] The outline block diagram of the equipment for explaining the 1st example of the low-temperature dry etching system of this invention.

[Drawing 2] Production process drawing of the waveguide for explaining the example of the low-temperature dry etching approach of this invention.

[Drawing 3] The explanatory view showing the perpendicularity of the etching oxide film by the difference among low-temperature dry etching conditions.

[Drawing 4] The explanatory view showing the side-face dry area of the etching oxide film by the difference among low-temperature dry etching conditions.

[Drawing 5] The explanatory view showing the generating situation of the sub trench of the etching oxide film by low-temperature dry etching.

[Drawing 6] The schematic diagram of the optical multiplexer/demultiplexer of the waveguide configuration made as an experiment using the low-temperature dry etching system of this example.

[Drawing 7] Comparison property drawing of the example of a waveguide mold optical multiplexer/demultiplexer and the conventional example which are shown in drawing 6.

[Drawing 8] The outline block diagram of the equipment for explaining the 2nd example of the low-temperature dry etching system of this invention.

[Drawing 9] The outline block diagram of the low-temperature dry etching system used for examination of this invention.

[Description of Notations]

- 1-1 Reaction Chamber
- 1-2 Reaction Chamber
- 2 Spare Room
- 3-1 Exhaust Air System
- 3-2 Exhaust Air System
- 4 Exhaust Air System
- 5-21 Hole
- 7 CHF<sub>3</sub> Gas Supply System
- 8 Helium Gas Supply System
- 9 Refrigerant Circulatory System
- 10 Sample
- 11-1 Gate Valve
- 11-2 Gate Valve
- 12 Sample Insertion / Sample Drawing System
- 13-21 Hole
- 14 Gas Supply System
- 15 Gas Supply System
- 21 Ar Gas Supply System



---

[Translation done.]

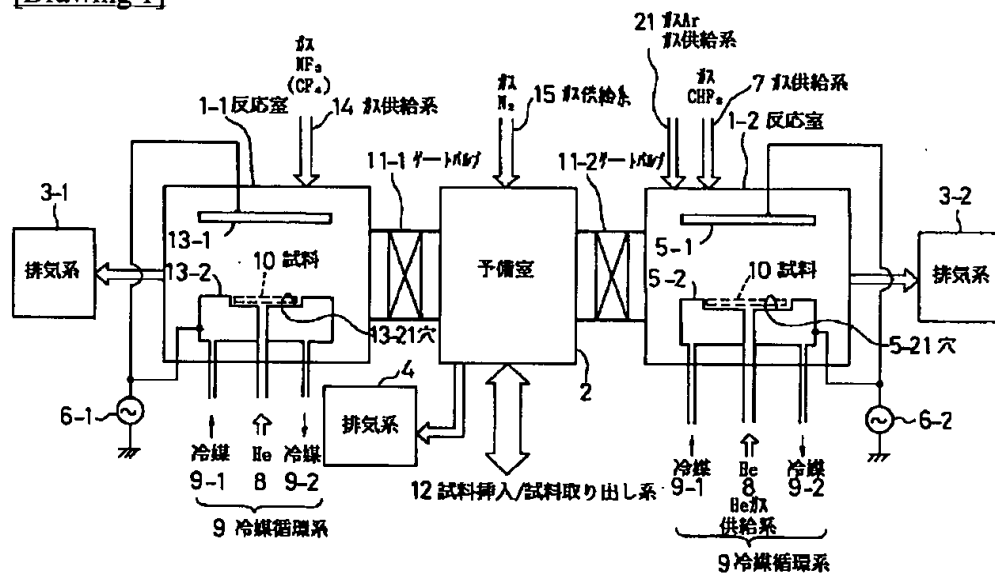
## \* NOTICES \*

JPO and NCIPi are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

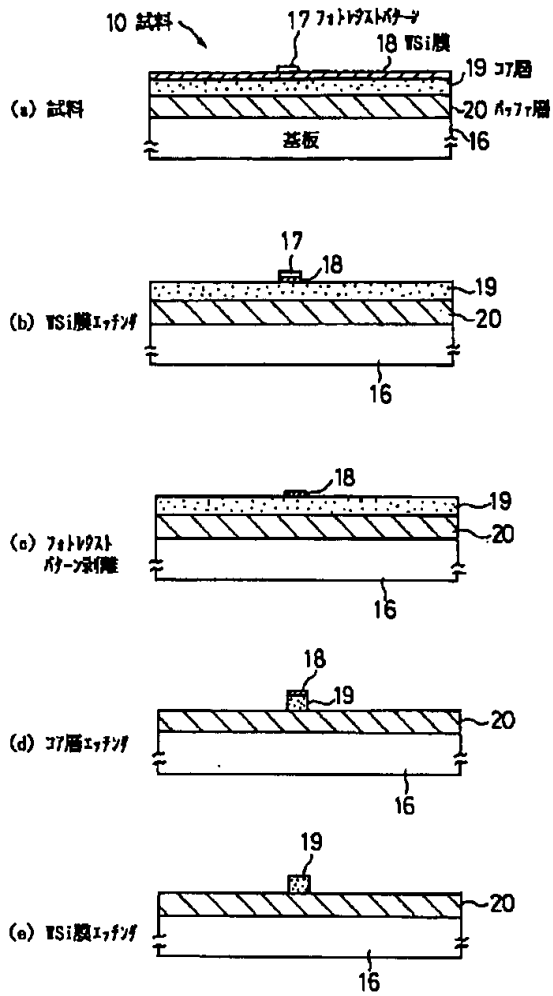
1. This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
2. \*\*\*\* shows the word which can not be translated.
3. In the drawings, any words are not translated.

## DRAWINGS

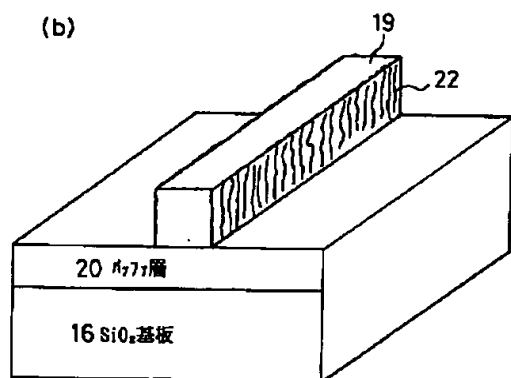
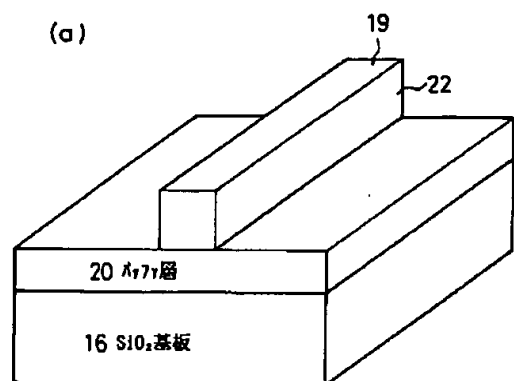
[Drawing 1]



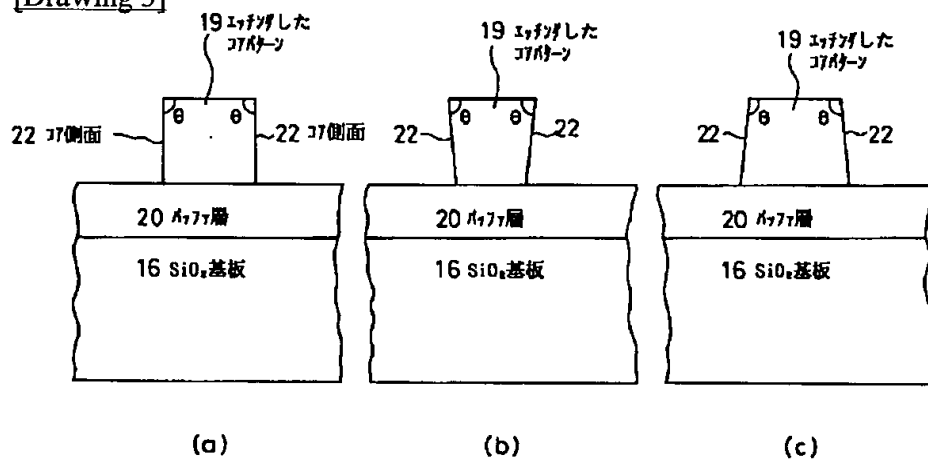
[Drawing 2]



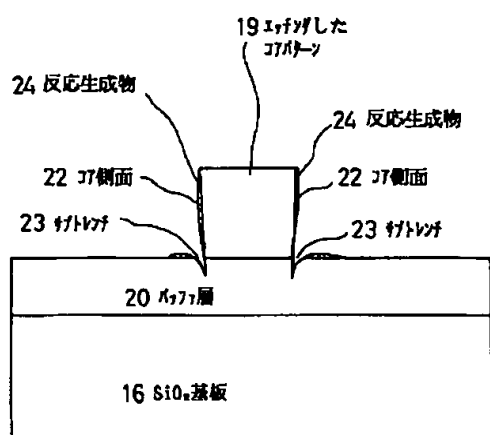
[Drawing 4]



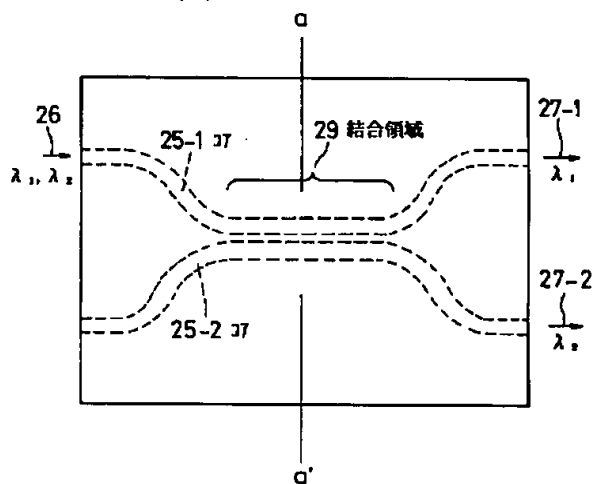
[Drawing 3]



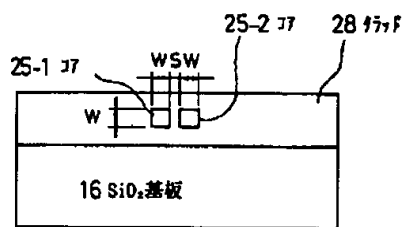
[Drawing 5]



[Drawing 6]  
(a)

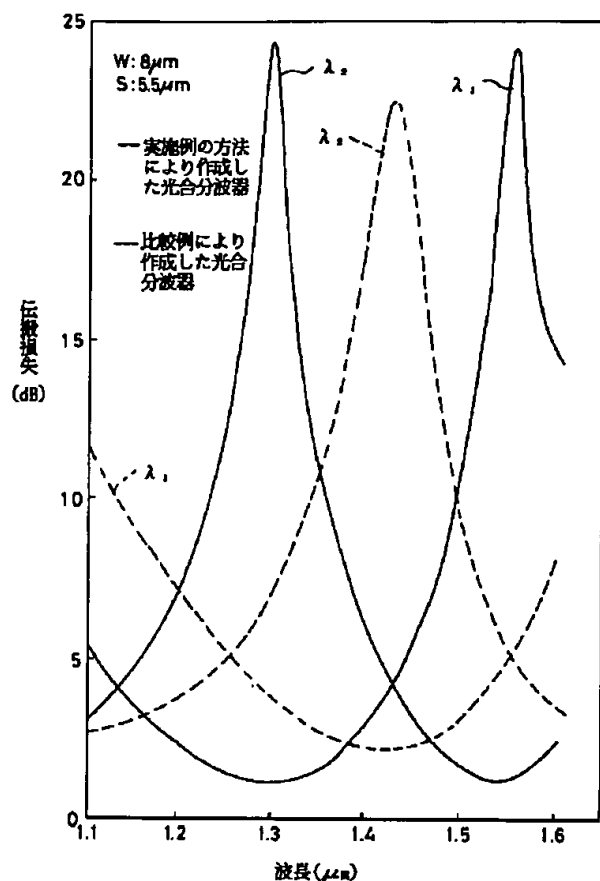


(b)

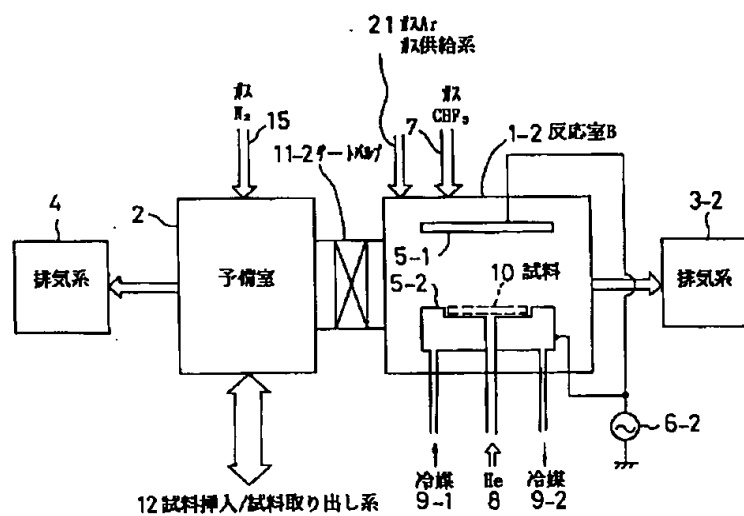


(a-a' 断面図)

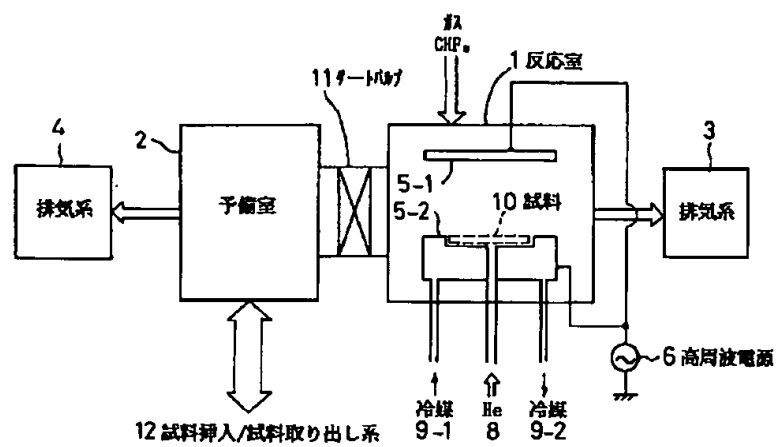
[Drawing 7]



[Drawing 8]



[Drawing 9]



[Translation done.]

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning  
Operations and is not part of the Official Record**

**BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☒ **BLACK BORDERS**
- ☐ **IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- ☒ **FADED TEXT OR DRAWING**
- ☒ **BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**
- ☐ **SKEWED/SLANTED IMAGES**
- ☐ **COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**
- ☐ **GRAY SCALE DOCUMENTS**
- ☐ **LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**
- ☒ **REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**
- ☐ **OTHER:** \_\_\_\_\_

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.**